

UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Departamento de Deportes e Informática



**Valoración de las demandas de aceleración en fútbol en
función a la velocidad inicial, velocidad final y potencia
metabólica**

*Assessment of acceleration demands in soccer based on the
initial speed, final speed and metabolic power*

Tesis Doctoral

Mención Internacional

Francisco Ignacio Martínez Cabrera

Dirigida por:

Dr. D. Francisco Javier Núñez Sánchez

Dr. D. Moisés de Hoyo Lora

Sevilla, 2019

TESIS DOCTORAL

Valoración de las demandas de aceleración en fútbol en función a la velocidad inicial, velocidad final y potencia metabólica

Assessment of acceleration demands in soccer based on the initial speed, final speed and metabolic power

Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Factores Determinantes del Rendimiento Físico y Deportivo

Mención Internacional

Director

Dr. D. Francisco Javier Núñez Sánchez

Director

Dr. D. Moisés de Hoyo Lora

Doctorando

Francisco Ignacio Martínez Cabrera

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	xi
PREFACIO.....	xiii
PUBLICACIONES.	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xxi
ABREVIATURAS.....	xxv
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Origen de la problemática de estudio.....	3
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO: Análisis de las demandas de movimiento (motion analysis).....	7
2. Análisis de las demandas de movimiento (motion analysis).	9
2.1. Sistemas de análisis.....	23
2.1.1. Análisis con cámaras de vídeo.....	24
2.1.2. Análisis mediante dispositivos electrónicos.	30
2.1.2.1. Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).	32
2.2. Cuantificación de las demandas de carrera en fútbol.	37
2.2.1. Estudio de las demandas de movimiento en función a la velocidad y la distancia recorrida. ..	45
2.2.2. Acelerometría.	56
2.2.3. Potencia metabólica.	60
2.2.4. Aceleraciones.....	72
2.3. Individualización de los umbrales de intensidad.....	87
2.3.1. Valoración de las demandas de movimiento en jóvenes futbolistas.	92
CAPÍTULO 3 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	97
3.1. Estudio 1.	99
3.1.1. Hipótesis.	99
3.1.2. Objetivos.....	99
3.2. Estudio 2.	100
3.2.1. Hipótesis.	100
3.2.2. Objetivos.....	100
3.3. Estudio 3.	100
3.3.1. Hipótesis.	100
3.3.2. Objetivos.....	101

CAPÍTULO 4 ESTUDIO 1: The use of metabolic power to assess physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running?	103
4.1. Resumen (Abstract).....	105
4.2. Materiales y Métodos.....	108
4.2.1. Sujetos.	108
4.2.2. Procedimientos.	108
4.2.2.1. Recogida y análisis de datos.	108
4.2.2.2. Factores determinantes del rendimiento físico.....	109
4.2.3. Análisis estadístico.	110
4.3. Resultados.....	111
4.3.1. Distancia cubierta por minuto y potencia metabólica.	111
4.3.2. Distancia recorrida en categorías de velocidad de carrera según la posición de juego.....	113
4.3.3. Distancia cubierta en categorías de potencia metabólica según la posición de juego.....	115
4.4. Discusión.....	117
4.4.1. Conclusiones.....	122
CAPÍTULO 5 ESTUDIO 2: Individualized thresholds to analyze the acceleration demands in soccer players using GPS.	123
5.1. Resumen (Abstract).....	125
5.2. Materiales y Métodos.....	127
5.2.1. Sujetos.	127
5.2.2. Medidas de la actividad de partido.	127
5.2.3. Protocolo experimental	128
5.2.4. Análisis de las demandas de carrera en partido.	128
5.2.5 Análisis estadístico.	129
5.3. Resultados.....	130
5.4. Discusión.....	133
5.4.1. Conclusiones.....	137
CAPÍTULO 6 ESTUDIO 3: Use of individual relative thresholds to assess acceleration in young soccer players according to initial speed.	139
6.1. Resumen (Abstract).....	141
6.2. Materiales y Métodos.....	145
6.2.1. Sujetos.	145
6.2.2. Diseño del estudio y procedimiento.....	145
6.2.3. Recogida de datos.	146
6.2.4. Análisis de partido.	147
6.2.5. Análisis estadístico.	147
6.3. Resultados.....	148

6.3.1. Análisis de grupos.....	148
6.3.2. Análisis entre grupos.	150
6.3.3. Análisis de los umbrales relativos y absolutos.....	153
6.4. Discusión.....	154
6.4.1. Conclusiones.....	159
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES.....	161
7. Conclusiones generales.	163
7.1. Main Conclusions.	164
CAPÍTULO 8 LIMITACIONES DE LA TESIS.....	167
8. Limitaciones de la tesis.	169
8.1. Limitaciones estudio 1.	169
8.2. Limitaciones estudio 2.	169
8.3. Limitaciones estudio 3.	170
CAPÍTULO 9 APLICACIONES PRÁCTICAS.....	171
9. Aplicaciones prácticas.	173
CAPÍTULO 10 PERSPECTIVAS DE FUTURO.....	177
10. Perspectivas futuras.	179
REFERENCIAS	181
ANEXOS.....	215
Anexo 1. Estudio 1: The use of metabolic power to assess physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running?	217
Anexo 2. Estudio 2: Individualized thresholds to analyze the acceleration demands in soccer players using GPS.	229
Anexo 3. Estudio 3: Use of Individual relative thresholds to assess acceleration in young soccer players according to initial speed.....	237
Anexo 4. Consentimiento informado (estudio 3).....	249

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Demandas de carrera en jóvenes futbolistas.	46
Tabla 2. Distancia recorrida por cada posición a lo largo de un partido.....	50
Tabla 3. Número y distancia total a intensidad de sprint realizados a lo largo de un partido diferenciando por posiciones de juego.	51
Tabla 4. Distancia total recorrida y distancia total recorrida en la primera y segunda parte del partido según diferentes publicaciones.	53
Tabla 5. Resumen de los estudios que han analizado la aceleración y/o desaceleración durante partidos de fútbol..	79
Tabla 6. PM y distancia cubierta por posiciones de juego.....	112
Tabla 7. Distancia cubierta en las diferentes categorías de intensidad en función a la velocidad de carrera y en relación a las posiciones de juego.....	114
Tabla 8. Distancia cubierta en las diferentes categorías de intensidad en función a la PM y en relación a las posiciones de juego.	116
Tabla 9. Aceleraciones máximas individuales según las posiciones de juego.....	130
Tabla 10. Número de aceleraciones, porcentaje de la aceleración máxima individual y distancia media cubierta en metros según las posiciones de juego.....	132
Tabla 11. Diferencias relativas y cualitativas en el número de aceleraciones de alta intensidad en función a la velocidad inicial en función a las posiciones de juego.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Adaptación del Modelo Ergonómico del Análisis del Fútbol	3
Figura 2. Ciclo de trabajo de entrenadores y/o preparadores físicos. Importancia del feedback proporcionado por el análisis del juego.	10
Figura 3. Análisis comparativo de la distancia recorrida entre equipos (total y por posiciones) de una misma liga en generaciones diferentes	13
Figura 4. Análisis de partido mediante video en partido oficial.	23
Figura 5. Proceso de análisis de partido computarizado.....	24
Figura 6. Distancia recorrida según las posiciones de juego.	26
Figura 7. Cámaras de Amisco ® en estadio de fútbol profesional.	28
Figura 8. Operarios de la firma TRACAB® durante un partido de fútbol.	29
Figura 9. Funcionamiento, dispositivo y representación del sistema Inmotio.....	31
Figura 10. Representación esquemática del funcionamiento de los GPS.	33
Figura 11. Periodo de 5 min con mayor pico de actividad a alta intensidad de carrera de partido comparado con los siguientes 5 min de partido.	44
Figura 12. Dispositivo OptimEye S5.....	56
Figura 13. Simplificación de las fuerzas de acción sobre el sujeto durante una aceleración.....	63
Figura 14. Magnitud del cambio entre distancia cubierta a alta velocidad y distancia cubierta a alta PM en tres modelos diferentes de juegos reducidos.....	68
Figura 15. Distancia cubierta a muy alta velocidad y número total de aceleraciones y desaceleraciones.	69
Figura 16. Aceleración máxima absoluta, máxima desaceleración y máxima velocidad durante 6 modelos diferentes de juegos reducidos.	82
Figura 17. Curvas de velocidad y aceleración de los cuatro sprints realizados por un jugador.....	84
Figura 18. Máxima aceleración voluntaria y velocidad inicial de carrera previa a la aceleración.	85
Figura 19. Comparación del número de aceleraciones a alta intensidad entre las diferentes posiciones de juego y en función a la velocidad inicial.	152
Figura 20. Comparación del número de aceleraciones a alta intensidad entre los umbrales absolutos y relativos individualizados en función a la velocidad inicial.	154
Figura 21. Perfiles de aceleración (>50% de la aceleración máxima) según las posiciones de juego en jugadores semiprofesionales.....	175
Figura 22. Perfiles de aceleración (>75% de la aceleración máxima) según las posiciones de juego en jóvenes futbolistas..	176

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1: Exertion index:	42
Ecuación 2: Player load.....	57
Ecuación 3: Pendiente equivalente	62
Ecuación 4: Equivalente de masas	63
Ecuación 5: Coste energético	63
Ecuación 6: Coste energético de la aceleración.....	63
Ecuación 7: Potencia metabólica.....	64
Ecuación 8: Equivalente de distancia:	64
Ecuación 9: Potencia metabólica a $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	65
Ecuación 10: Porcentaje de aceleración	84
Ecuación 11: Regresión lineal de la aceleración máxima según la velocidad inicial	85

AGRADECIMIENTOS.

Desde el inicio del doctorado, siempre tuve claro que las primeras palabras de la tesis doctoral tenían que comenzar dirigidas a las siguientes personas:

A mis padres, porque gracias a ellos soy la persona que soy actualmente, por su cariño, dedicación, educación y transmisión de valores. Sé que siempre estaréis ahí.

A mi Padre, por ser siempre mi referencia, aquella persona a la que te gustaría parecerte algún día.

A mi Madre, por ser una luchadora y transmitirme su capacidad de esfuerzo y sacrificio... Y por aguantar esas innumerables horas esperando a que avise de que he llegado de mi viaje... “imaginé que llegaste bien...” me decías.

A Paqui, por su amor incondicional, por ser el motor que hace que todo funcione y tenga sentido, y por ser la persona con la que quiero estar el resto de mi vida.

A mi hermano Samuel, por estar siempre presente y darme todo su apoyo... “¡Nos ha tocado el mejor! decía yo...” No me equivoqué.

A mis Abuelos, por su cariño y sabios consejos. Siempre presentes.

A mis directores Javier Núñez y Moisés de Hoyo, por su paciencia y dedicación para que todo siga saliendo adelante. Sin ellos no hubiera sido posible. A Javi, por ser siempre mi referencia y modelo a seguir, además de confiar en mi persona y darme todas las oportunidades que me has brindado. Te debo mucho. Espero, algún día, poder acercarme a donde tú has llegado. A Moisés, por su ofrecimiento, disponibilidad y profesionalidad durante este tiempo. Un privilegio haber podido tenerlos a ambos acompañándome y guiándome durante esta aventura.

A Alberto Martín, por tu amistad, esa que sabes que durará siempre. Tantos consejos, debates, risas... siempre dispuesto a escucharme y siempre un placer escucharte.

A Javi Bueno, por tu amistad. Un currante nato. Gracias por todos tus consejos en general y para el doctorado en particular. Siempre tienes una respuesta para todo.

A Rosu y Mónica, mi familia rumana. Gracias por vuestra ayuda y apoyo en todos los momentos y circunstancias. Han sido muchas las experiencias vividas y en todas ellas me habéis demostrado siempre la enorme calidad humana que atesoráis.

A todos los amigos de Baeza, Sevilla y familia (que no son pocos) que me han apoyado durante todo este tiempo.

A Julio Herrador, por meterme en esta “secta” de la investigación y publicación. Como diría aquel: “contigo empezó todo...”

A Diego Longo, por su amistad, profesionalidad y por haberme despertado la curiosidad sobre la problemática del análisis de partidos y entrenamientos. Hecho que finalmente acabó siendo objetivo de esta Tesis.

A Marius Dima por su amistad y ayuda durante todo este tiempo y Marius Viorel Ulareanu, por acogerme durante mi estancia.

A mi primo Juan Ignacio, por su ayuda con el diseño de imágenes.

A todos los compañeros de trabajo y amigos conocidos durante mis aventuras por el extranjero, de todos he podido aprender y sin duda que pusieron su granito de arena a este proyecto.

Gracias a todos.

PREFACIO

La disciplina de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte es la rama de la ciencia que se encarga de dar soporte científico a las teorías y principios sobre los que se rige, entre otras cosas, el entrenamiento deportivo. Dicho de otra forma, trata de dar respuestas a las interrogantes planteadas por deportistas y técnicos con el objetivo de lograr la máxima eficacia y eficiencia en el rendimiento.

Uno de los aspectos fundamentales dentro de las labores de los entrenadores o preparadores físicos es la observación sistemática de todo el proceso de entrenamiento con el objetivo de supervisar y analizar la actividad realizada. El entendimiento de qué están haciendo nuestros deportistas (futbolistas) o a qué exigencias están siendo sometidos, así como de la adecuación de su práctica a las circunstancias propias del momento competitivo, ha sido uno de los factores que ha acabado derivando en el desarrollo de esta tesis doctoral.

Durante los años de la Licenciatura, gracias a la calidad profesional y humana del cuerpo docente que tuvimos, entendí que el uso de la Ciencia es el medio para lograr el entendimiento y la respuesta a las cuestiones que nos planteamos. Años más tarde, como no podía ser de otra forma, en el ámbito profesional fueron surgiendo cuestiones propias al contexto en el que me desenvolvía, el fútbol.

Una de las cosas que más me ha enriquecido, tanto a nivel personal como profesional, ha sido el haber podido conocer, aprender y disfrutar de compañeros de profesión. Todos me han aportado, de una forma u otra, conocimientos y vivencias que sin lugar a dudas están presentes en esta tesis doctoral. Concretamente, durante mi estancia en Rumanía, tuve la fortuna de coincidir con Diego Longo, preparador físico con una larga experiencia. Con Diego, de origen italiano, pude compartir muchas ideas metodológicas, ya que a ambos nos “inquietaba” el análisis del juego, especialmente las acciones que se desarrollaban a alta intensidad.

Durante el estudio de las demandas de movimiento de los entrenamientos, siempre coincidíamos en que el uso exclusivo de la distancia cubierta a una determinada velocidad

de desplazamiento, como variable de control, tenía la limitación de no considerar los esfuerzos ocasionados por las aceleraciones o frenadas. Por tanto, debíamos tomar en consideración los resultados de algunas actividades, especialmente aquellas en las que no se alcanzaban grandes velocidades, como es el caso de ciertos juegos reducidos. Él (Diego) fue quién me comenzó a hablar, por aquel entonces (2014), de una cosa que estaba empezando a tener su aparición en la literatura científica, la potencia metabólica. Diego la llevaba utilizando desde algún tiempo gracias también a profesores de su facultad de Génova, Italia, país de los autores originarios de esta propuesta. Gracias a él, mis inquietudes sobre la potencia metabólica y las aceleraciones a alta intensidad aumentaron. Fruto de su aportación, comencé a indagar en esta temática, la cual dio lugar al desarrollo del primer estudio.

Como consecuencia de los resultados obtenidos, decidimos (junto a mis directores) buscar otra serie de herramientas para tratar de solventar la problemática del estudio de las aceleraciones ocasionado por el análisis de la velocidad de carrera. Después de las aportaciones de otros autores en la literatura, surgieron las propuestas de las otras dos investigaciones plasmadas en esta tesis.

A modo retrospectivo, se podría considerar que el origen de este documento se debe principalmente a la búsqueda de respuestas a interrogantes surgidas durante mi desempeño en el fútbol profesional. Gracias a las aportaciones de mis directores, piezas fundamentales de esta tesis, junto con los conocimientos e inquietudes adquiridos de los compañeros con los que he tenido la gran suerte de coincidir, he conseguido (hemos conseguido) que el trabajo de muchos años se pueda ver reflejado en este documento. Aunque esto no termina aquí, más bien es el comienzo.

“La totalidad de la Ciencia no es más que un refinamiento del pensamiento cotidiano”

Albert Einstein (Londres, 1950)

PUBLICACIONES.

Estudio 1 (Study 1): **Martínez-Cabrera, FI.,** Núñez-Sánchez, FJ. (2017). The use of metabolic power to assess physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running? *J Sports Med Phy Fitness*, 58(10), 1403-1411. (Anexo 1).

Estudio 2 (Study 2): Núñez-Sánchez, FJ., Toscano-Bendala, FJ, Suarez-Arrones, L., **Martínez-Cabrera, FI.,** de Hoyo, M. (2019). Individualized thresholds to analyse the acceleration demands in soccer players using GPS. *RETOS: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deportes y Recreación*, 35, 75-79. (Anexo 2).

Estudio 3 (Study 3): **Martínez-Cabrera, FI.,** Núñez-Sánchez, FJ., Losada, J., Otero-Esquina, C., Sánchez, H., de Hoyo, M. (2018). Use of individual relative thresholds to assess acceleration in young soccer players according to initial speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, ahead of print. (Anexo 3).

RESUMEN.

Introducción: varios estudios previos han analizado las exigencias de carrera en fútbol empleando un método basado en los metros recorridos a diferentes velocidades absolutas de carrera. No obstante, es posible que determinadas acciones realizadas con una alta frecuencia en el juego, tales como aceleraciones, desaceleraciones, giros, saltos, etc., no alcancen una elevada velocidad de desplazamiento, siendo, por tanto, consideradas como actividades a baja intensidad cuando realmente son a alta o máxima. Además, esta forma de categorizar la intensidad de las acciones no considera la capacidad individual de cada sujeto, lo cual puede llevar a una malinterpretación de los resultados, puesto que una misma velocidad puede representar magnitudes de esfuerzo diferentes según el deportista. En los últimos años han surgido algunas propuestas para solventar esta problemática como la potencia metabólica (PM) o los umbrales de aceleración individualizados a la capacidad máxima de acelerar de cada sujeto y/o en función a la velocidad previa al inicio de dicha aceleración.

Propuestas: los objetivos de nuestras investigaciones fueron: 1) comparar las diferencias en las demandas asociadas al uso de la PM y el método tradicional usando la velocidad de carrera durante partidos de fútbol en términos absolutos; 2) comparar ambos métodos a diferentes intensidades según las posiciones de juego; 3) analizar el número de aceleraciones, porcentaje de la aceleración máxima y la distancia recorrida acelerando atendiendo a las diferentes posiciones de juego, clasificándolos según un umbral individual para cada jugador basado en la máxima capacidad de acelerar y usando la tecnología de sistemas de posicionamiento global (GPS); 4) analizar las características de los esfuerzos que requieren las aceleraciones usando un umbral relativo individualizado y diferenciando por posiciones de juego durante partidos oficiales en jugadores jóvenes de élite y 5) comparar las diferencias entre el uso de umbrales absolutos y relativos para evaluar las acciones de aceleración a alta intensidad.

Métodos: En el desarrollo de los diferentes estudios fueron monitorizados y analizados futbolistas profesionales (edad = 26.3 ± 3.9 años; altura = 180.0 ± 4.9 cm; peso = 77 ± 5.5 kg) durante 18 partidos amistosos (*estudio 1*), jugadores de fútbol semi-

profesionales (edad = 26.6 ± 4.1 años; altura = 178.5 ± 5.8 cm; peso = 74.4 ± 5.6 kg) durante 4 partidos amistosos (*estudio 2*) y jóvenes futbolistas (edad = 17.3 ± 3.9 años; altura = 175.6 ± 5.8 cm; peso = 72.4 ± 5.2 kg) a lo largo de 18 partidos oficiales (*estudio 3*) con dispositivos GPS. Entre las variables utilizadas para valorar las demandas de movimiento de los jugadores se utilizaron: 1) distancia recorrida a diferentes intensidades de PM y velocidad de carrera; 2) número, distancia y porcentaje de la aceleración máxima (en acciones $>50\%$ de la aceleración máxima) en función a umbrales individualizados a la capacidad máxima de acelerar (obtenida previamente con un test de velocidad máxima de 40 m), clasificando las acciones según la velocidad inicial y final alcanzada durante la aceleración (aceleración iniciada entre 0 y $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y sin llegar a superar los $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; aceleración iniciada entre 0 y $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y superando una velocidad final de $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; aceleración que inicia por encima de los $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y supera los $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; aceleración que comienza a una velocidad mayor de $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$); y número de aceleraciones a alta intensidad (en acciones $>75\%$ de la aceleración máxima) en función a la velocidad previa a la aceleración, empleando tanto umbrales absolutos ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) como umbrales individuales relativizados a la capacidad de cada sujeto de acelerar al máximo a diferentes velocidades iniciales ($0\text{-}7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $7.1\text{-}14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; y $\geq 14.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Los sujetos fueron divididos según sus posiciones de juego. Porteros y jugadores lesionados o en proceso de readaptación fueron excluidos del análisis.

Resultados: en el *estudio 1*, en valores absolutos de PM, los centrocampistas (CM) y centrocampistas laterales (CL) consiguieron valores substancialmente superiores con respecto al resto de posiciones (*de probable a casi con certeza*), siendo los CM los que registraron las marcas más altas en ambos métodos de evaluación (PM y velocidad de carrera) (*de probable a casi con certeza*) y teniendo una idéntica relación entre las posiciones de juego usando ambos modelos de análisis. Atendiendo a las categorías de intensidad, a media-baja intensidad ($8\text{-}13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y $5\text{-}10 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) aparecieron diferencias entre ambas formas de evaluación. La demanda física para los delanteros (DEL) y defensas centrales (DC) fueron más bajas que el resto de demarcaciones (*casi con certeza*) usando el método tradicional (a través de la velocidad de carrera). Sin embargo, fueron más altas que las otras posiciones cuando se evaluaron usando la PM (*probable*). No se encontraron diferencias a baja, media o altas intensidades. En el *estudio 2*, considerando las aceleraciones $>50\%$ de la aceleración máxima que se inician desde 0 a $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y sin llegar a $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ de velocidad final, los DL realizaron un mayor número en comparación

con las otras demarcaciones de juego (*de probable a muy probable*) logrando una intensidad ~95% de su aceleración máxima y siendo este valor superior al resto de demarcaciones (*de muy probable a casi con certeza*). En las aceleraciones que comienzan desde 0 hasta 13 km·h⁻¹ y sí logran superar los 18 km·h⁻¹, los DL y CL realizaron un mayor número de aceleraciones que los DC y los DEL (*de probable a muy probable*), consiguiendo los CM una intensidad relativa superior substancialmente al resto de compañeros y representando ~95% de su máxima aceleración (*de probable a casi con certeza*). Cuando la velocidad previa se inició entre los 13 y 18 km·h⁻¹, los CM realizaron una cantidad superior de aceleraciones que el resto de grupos (*probable*), mientras que los DEL lograron una intensidad ~78% de su máxima aceleración, siendo ésta superior al resto de grupos (*de probable a muy probable*). Únicamente se encontró una aceleración con una velocidad previa superior a 18 km·h⁻¹ en los defensas laterales (DL) y DEL. En el estudio 3, el análisis de los diferentes grupos mostró como el número de aceleraciones a alta intensidad (>75% de la aceleración máxima) fue superior cuando los esfuerzos comenzaron desde parado o andando que a moderada o alta intensidad de carrera (*de muy probable a casi con certeza*). El análisis entre las diferentes posiciones de juego reveló diferencias substanciales entre las demarcaciones en función a la velocidad inicial. Cuando la velocidad inicial fue de 0-7 km·h⁻¹ y ≥ 14.1 km·h⁻¹, los DC tuvieron los valores más bajos en el número de aceleraciones (*de probable a casi con certeza*), mientras que los CM fueron los que realizaron el mayor número de acciones acelerando a alta intensidad cuando la velocidad inicial fue <14.0 km·h⁻¹ (*probable*). Al mismo tiempo, se encontraron también diferencias substanciales entre otras posiciones de juego (*de probable a casi con certeza*). Cuando la velocidad inicial fue entre 0 y 7 km·h⁻¹, los CM, los CL, los DL y los DEL realizaron un número superior de aceleraciones a los DC (*de probable a casi con certeza*), observándose igualmente valores superiores de los CM con respecto a los CL, DL y DEL (*de probable a muy probable*). Por otro lado, cuando la aceleración se inició a una velocidad previa entre 7 y 14 km·h⁻¹, los CM tuvieron valores superiores a los DEL, DL, DC y CL (*de probable a casi con certeza*), mientras que los DEL y los DL realizaron más aceleraciones de estas características que los DC (*de probable a casi con certeza*) y los DC que los CL (*muy probable*). En cuanto a las aceleraciones iniciadas a una velocidad ≥ 14 km·h⁻¹, los CM obtuvieron diferencias substanciales con los CL y DC (*de probable a muy probable*), observándose unos resultados inciertos para el resto de demarcaciones. Con respecto a los umbrales absolutos y relativos, los datos indicaron que el umbral absoluto sobreestimó el número de

aceleraciones a alta intensidad comparado con el umbral relativo individualizado cuando la acción comenzó desde parado o a baja velocidad inicial de ($0-7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) (*casi con certeza*) y subestimó los resultados cuando ésta fue $\geq 7.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (*casi con certeza*).

Conclusiones: la PM mostró diferencias a media-baja intensidad comparados con el enfoque tradicional de análisis a través de la velocidad de carrera entre las posiciones de juego. Sin embargo, no se encontraron diferencias en el resto de intensidades entre ambos métodos en las distintas demarcaciones. El empleo de un umbral relativo individualizado para medir las demandas de aceleración mostró que las diferencias entre el número de aceleraciones son resultado de la velocidad inicial y las posiciones de juego. Además, los umbrales de aceleración absolutos podrían sobreestimar o subestimar las demandas de aceleración en jóvenes jugadores de fútbol atendiendo a la velocidad inicial previa a la aceleración. El uso de umbrales individualizados podría ser de gran utilidad para evaluar de forma más precisa el rendimiento de las aceleraciones de los jugadores, permitiéndoles con ello un mejor control de su prestación, lo cual es de gran utilidad para el diseño de programas encaminados a la mejora de esta habilidad en competición, así como para prevenir y reducir el riesgo de lesión.

ABSTRACT.

Introduction: Several previous studies have analysed movement demands in soccer using a method based on distance covered at different absolute running speeds. However, it is possible that certain actions performed with a high frequency in the game, such as accelerations, decelerations, turns or jumps, which do not reach high running speed, could be considered low intensity, being done at high or maximum intensity instead. In addition, these categories of intensity do not take into account the individual capacity of each player, which could also result in a misunderstanding of the results, since the same speed can represent different magnitudes of effort depending on the athlete being assessed. In recent years, different proposals have emerged to try to resolve this problem, such as metabolic power or individualised thresholds to the maximum capacity of each player and/or attending to the speed prior to acceleration.

Purpose: The aims of our investigations were: 1) to compare the differences in the demands associated with the use of metabolic power and traditional approaches using speed running during soccer matches in absolute values; 2) to compare both methods in different zones of intensity as a function of the playing positions; 3) to analyse the number of accelerations, the percentage of maximum acceleration and the distance covered between different soccer players' positions, classifying them according to an individual threshold based on the maximum capacity of acceleration with GPS technology; 4) to analyse the characteristics of acceleration efforts using individual relative thresholds during official matches in elite young soccer players according to player position; and 5) to compare the differences between absolute and relative thresholds in assessing high-intensity acceleration.

Methods: In the development of the different studies, professional soccer players were monitored and analysed (age = 26.3 ± 3.9 years, height = 180.0 ± 4.9 cm, weight = 77 ± 5.5 kg) during 18 friendly matches (*study 1*), semi-professional soccer players (age = 26.6 ± 4.1 years; height = 178.5 ± 5.8 cm; weight = 74.4 ± 5.6 kg) during 4 friendly matches (*study 2*), and elite young soccer players (age = 17.3 ± 3.9 years; height = 175.6 ± 5.8 cm; weight = 72.4 ± 5.2 kg) during 18 official matches (*study 3*) with GPS devices.

Among the variables used to assess the movement demands were: distance covered at different intensities of metabolic power and speed running; number, distance and percentage of accelerations ($>50\%$ a_{\max}) using individualised thresholds according to an individual thresholds to the maximum acceleration capacity (obtained previously with a maximum speed test of 40 metres), classifying the actions depending on the initial and final speed reached during acceleration (acceleration started between 0 and 13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ without exceeding 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; acceleration started between 0 and 13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and exceeding 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, acceleration started between 13 and 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, and that which started at a speed $>18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; and number of high intensity accelerations ($>75\%$ a_{\max}) as a function of the initial speed previous to the acceleration using absolute ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) and individual relative ($>75\%$ a_{\max}) thresholds to the individual capacity of acceleration of each player at different initial speeds (0–7 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; 7.1–14 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; and $\geq 14.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). All players were divided into groups according to their playing positions. Goalkeepers and injured players or in the rehabilitation process were excluded.

Results: In study 1, in absolute metabolic power values, central midfielders and lateral midfielders had substantially greater values than those of other positions (*from likely to almost certainly*), with central midfielders having the highest values in both approaches (metabolic power and speed running) (*from likely to almost certainly*) and an identical relationship between the positions in both approaches. In categories of intensity, medium-to-low intensity (8–13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and 5–10 $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$) displayed differences between the methods. The physical demands of forwards and central defenders were lower (*almost certainly*) using the traditional approach (speed running) but were higher than the other playing positions when using the metabolic power approach (*likely*). No differences were found at low, medium or high intensities. In study 2, considering accelerations $>50\%$ of maximum acceleration, which started from 0–13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and without reaching a final speed of 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, full-backs performed a greater number of accelerations compared to other playing positions (*from likely to very likely*), obtaining an intensity of $\sim 95\%$ of their maximum acceleration, with these values being higher than those of other playing positions (*from very likely to almost certainly*). In accelerations which started from 0–13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and reached a final speed of more than 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, full-backs and wide midfielders performed a greater number of accelerations than central defenders and forwards (*from likely to very likely*), and central midfielders obtained a relative intensity that was substantially higher than the rest of the team, and was $\sim 95\%$ of their maximum

acceleration (*from likely to almost certain*). When the initial speed started between 13 and 18 km·h⁻¹, central midfielders performed the highest number of accelerations compared to the rest of the groups (*likely*), while forwards achieved an intensity of ~78% of their maximum acceleration, with these being higher than the rest of the groups (*likely*). In study 3, within-group analyses showed that the number of high intensity accelerations (>75% of the maximum acceleration) was higher when the effort started from a static or walking position than when it started with moderate or high-intensity running (*from very likely to almost certain*). Between-group analyses revealed substantial differences between playing positions according to initial speed. When the initial speed was between 0–7 km·h⁻¹ and ≥14.1 km·h⁻¹, central defenders had the lowest number of accelerations (*from likely to almost certain*), whereas central midfielders had the greatest number of high-intensity accelerations when the acceleration started from <14 km·h⁻¹ (*likely*). There were also substantial differences between the other playing positions (*from likely to almost certain*). When the initial velocity was between 0 and 7 km·h⁻¹, the central midfielders, lateral midfielders, full-backs and forwards performed a higher number of accelerations than the central defenders (*from likely to almost certainly*), also observing higher values of the central midfielders with respect to lateral midfielders, full-backs and forwards (*from likely to very likely*). On the other hand, when the acceleration started between 7 and 14 km·h⁻¹, the central midfielders had values higher than the forwards, full-backs, central defenders and lateral defenders (*from likely to almost certainly*), while the forwards and full-backs performed more accelerations with these characteristics than central defenders (*from likely to almost certainty*), and central defenders performed more than lateral midfielders (*very likely*). Regarding the accelerations initiated at a speed of ≥14 km·h⁻¹, the central midfielders showed substantial differences to lateral midfielders and central defenders (*from likely to very likely*), with uncertain results being provided for the rest of the playing positions. Regarding relative and absolute thresholds, the results showed that absolute threshold overestimated the number of high-intensity accelerations compared with the individual relative threshold when the initial speed was walking or standing (0–7 km·h⁻¹) (*almost certainly*) and underestimated the results when it was ≥7.1 km·h⁻¹ (*almost certain*).

Conclusions: the metabolic power approach showed differences at medium-low intensity compared to the speed running traditional approach between playing positions. However, the other intensities did not report differences compared to the traditional

approach in the different playing positions. The use of an individual relative threshold to measure acceleration demands showed that differences between the numbers of accelerations are a result of the initial speed and playing position. In addition, the absolute acceleration threshold could over- or underestimate the acceleration demands in young soccer players by attending the initial speed prior to acceleration. An individualised threshold could help coaches to assess the physical performance in acceleration actions of the players, allowing coaches to design programs to improve performance or prevent injuries in soccer players.

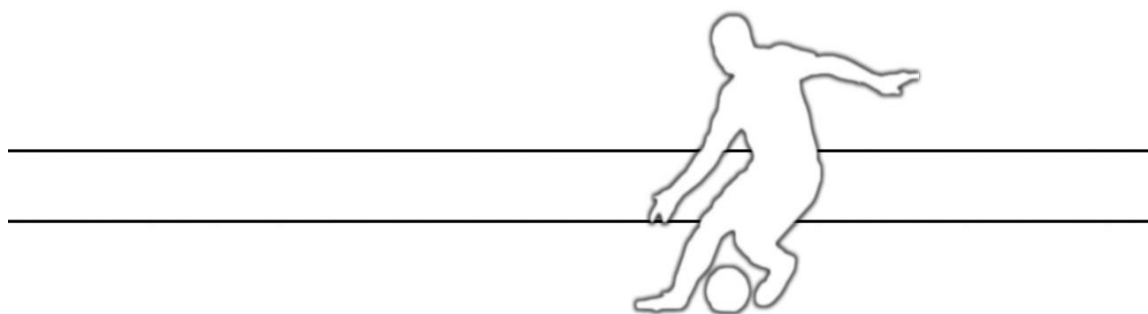
ABREVIATURAS.

A	Andando (0.1 a 8 km·h ⁻¹)
af	Aceleración hacia delante
AP	Alta potencia metabólica (20.1-35 W·kg ⁻¹)
BP	Baja potencia metabólica (5.1-10 W·kg ⁻¹)
CAV	Carrera alta velocidad (19.1 a 22 km·h ⁻¹)
CE	Coste energético
CK	Creatin Kinasa
CL	Centrocampistas laterales
CM	Centrocampistas
CMV	Carrera a moderada velocidad (13.1 a 16 km·h ⁻¹)
CS	Carrera suave (8.1 a 13 km·h ⁻¹)
CV	Coefficiente de variación
CVI	Carrera velocidad intermedia (16.1 a 19 km·h ⁻¹)
DC	Defensas centrales
DE	Desviación estándar
DEL	Delanteros
DL	Defensas laterales
ec	Ecuación
ED	Equivalente de distancia
EP	Elevada potencia metabólica (35.1-55 W·kg ⁻¹)
ES	Tamaño del efecto d de Cohen
g	Gravedad
GPS	Sistema de posicionamiento global o Global Positioning System (en inglés)
H	Horizontal
h	horas
IC	Intervalos de confianza
IMP	Intensidad de máxima potencia metabólica (≥ 55.1 W·kg ⁻¹)
J	Julios
kg	Kilogramos
km	Kilómetros
km·h ⁻¹	Kilómetros por hora

m	Metros
MBP	Muy baja potencia metabólica (0.1-5 W·kg ⁻¹)
ME	Masa equivalente
min	Minutos
m·s ⁻²	Metros por segundo al cuadrado
PE	Pendiente equivalente
PI	Potencia metabólica intermedia (10.1-20 W·kg ⁻¹)
PL	Player Load
PM	Potencia metabólica
S	Sprint (≥ 22.1 km·h ⁻¹)
s	Segundos
T	Superficie
UEFA	Union of European Football Association
VO ₂	Consumo de oxígeno
VO _{2max}	Consumo máximo de oxígeno
vs	Versus
W	Vatios
W·kg ⁻¹	Vatios por kilogramo de peso
α	Ángulo
i	Pendiente del terreno
V	Velocidad

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN



1.1. Origen de la problemática de estudio.

El fútbol es el deporte más popular en todo el mundo con más de 120 millones de jugadores registrados y con categorías que van desde la iniciación hasta nivel profesional, extendiéndose por todos los continentes y con la participación de todas las edades en hombre y mujeres (Reilly, 1997; Reilly y Williams, 2003). Siguiendo a Parlebas (2001), se trata de un deporte de cooperación-oposición, el cual se desarrolla en un espacio común que facilita una inter-motricidad simultánea de sus participantes sobre el balón (el móvil). Como consecuencia, está compuesto por habilidades abiertas en un ambiente incierto, dependiente de factores situacionales que exigen una demanda perceptiva, ya que se suceden acciones e interacciones continuas en el entorno, tanto con los compañeros como con los adversarios, el balón, el tiempo y el espacio, además de estar sujeto a los condicionantes del reglamento (Castellano y Almeda, 2001, p. 14). Al ser un deporte de equipo, la prioridad en la preparación de estos deportistas reside en la capacidad de fortalecer sus habilidades individuales al mismo tiempo que el grupo compita de una forma unida y bajo los mismos condicionantes técnicos y tácticos preestablecidos por el entrenador (Castellano y Casamichana, 2016, p. 23, 37; Pol, 2016, p. 53, 59; Tamarit, 2012, p. 37-38). Una de las dificultades para los técnicos reside en la capacidad de identificar las fortalezas y debilidades individuales de los jugadores para ser trabajadas posteriormente en los entrenamientos dentro del contexto propio del equipo y respetando las especificidades propias de cada posición de juego (Reilly, 2005) (figura 1).



Figura 1. Adaptación del modelo ergonómico del análisis del fútbol (Reilly, 2005).

En las últimas décadas, se ha producido un auge en el estudio y la investigación en el mundo del deporte, especialmente en el fútbol, donde han aparecido multitud de trabajos que aumentan y mejoran el conocimiento científico a nivel físico, fisiológico, psicológico, biomecánico y multidisciplinar (Bangsbo, Mohr y Krstrup, 2006; Castellano, Álvarez y Bradley, 2014; Drust, Atkinson y Reilly, 2007; Reilly, 2005; Reilly, Drust y Clarke, 2008; Rienzi, Drust, Reilly, Carter y Martin, 2000; Sarmiento *et al.*, 2014). Sin lugar a dudas, esto ha mejorado las labores de los equipos de trabajo encargados de los deportistas, al mismo tiempo que han modificado el día a día desde un punto de vista metodológico (Gilbourne y Richardson, 2005; Impellizzeri, Rampinini y Marcora, 2005; Lees y Nolan, 1998; Reilly y Williams, 2003; Stolen, Chamari, Castagna y Wisloff, 2005; Williams y Hodge, 2005).

El desarrollo de una preparación óptima desde un punto de vista condicional se ha convertido en una parte esencial dentro de los objetivos principales de los técnicos, ya que en los últimos años las exigencias, tanto del calendario competitivo (mayor número de partidos) como las del propio juego han aumentado considerablemente (Carling, Williams y Reilly, 2005, p. 89; Reilly, 2005). A día de hoy, el avance y la evolución en las ciencias del deporte ha facilitado a los técnicos la incorporación de métodos de análisis del juego y entrenamientos que permiten conocer de una forma precisa las exigencias a las que están sometidos sus deportistas (Carling, Bloomfield, Nelsen y Reilly, 2008). En este sentido, las características del fútbol y su complejidad, desde el punto de vista deportivo (deporte de cooperación y oposición), hacen que el análisis del rendimiento del jugador deba realizarse desde múltiples perspectivas (física, emocional, técnico-táctica...). Sabiendo que la interacción de todas ellas es la forma más adecuada de intentar explicar (si fuera posible) el rendimiento global de un jugador o un equipo, tener herramientas que permitan monitorizar de forma objetiva estos parámetros es de vital importancia para poder llevar a cabo estrategias que permitan conseguir un estado óptimo de rendimiento de los futbolistas, así como evitar la aparición de lesiones.

Si nos centramos en el aspecto condicional, resulta esencial conocer el grado de esfuerzo al que están sometidos nuestros deportistas, ya que a partir de ahí estableceremos diferentes criterios de trabajo atendiendo a las necesidades competitivas. En este sentido,

los sistemas de análisis actuales ofrecen una información válida y fiable de los parámetros de rendimiento durante partidos y entrenamientos. Esto permite a entrenadores y preparadores físicos (entre otros profesionales) establecer perfiles individuales de trabajo de los futbolistas en función a los esfuerzos que son requeridos en el partido y diseñar estrategias para que puedan llevar a cabo todas las acciones técnico-tácticas oportunas a la mayor intensidad posible y con el menor riesgo de lesión.

Hoy en día, gracias a estos métodos, contamos con un amplio análisis descriptivo de las demandas de competición en fútbol, los cuales nos permiten conocer, entre otras cosas, que durante un partido se producen cambios de actividad cada 4-6 s, con un total de unas 1350 acciones aproximadas, de las cuales 150-250 son a alta intensidad y acontecen cada 70 s de promedio. Una de estas exigentes acciones es el sprint, el cual ocurre aproximadamente cada 90 s y dura un promedio de 2-4 s, representando entre el 1-11% de la distancia total recorrida (Bangsbo, 1994; Krustrup, Mohr, Ellingsgaard y Bangsbo, 2005; Mohr, Krustrup y Bangsbo, 2003; Mohr, Krustrup y Bangsbo, 2005; Sarmiento *et al.*, 2014; Stolen *et al.*, 2005). En este sentido, se ha demostrado que este tipo de actividades tienen una alta influencia en el resultado, ya que la mayoría de las acciones cruciales del juego se desarrollan a máxima intensidad (Faude, Koch y Meter, 2012; Northeast, Russell, Shearer, Cook y Kilduff, 2017).

Si repasamos las publicaciones aparecidas en los últimos años en la literatura científica sobre el análisis de la competición, la mayoría de ellas han examinado el esfuerzo de los jugadores utilizando los metros recorridos como indicador de volumen y la velocidad de carrera como intensidad. No obstante, debido a la propia naturaleza del juego y atendiendo a los análisis realizados hasta la fecha, sabemos que durante un encuentro se desarrollan acciones a alta intensidad en un espacio corto de tiempo, las cuales pueden resultar esenciales para el resultado. El tiempo o distancia a la cual se llevan a cabo estas actividades vienen determinados por la situación contextual del juego, siendo, o no, necesario correr (o acelerar o saltar, entre otras) durante más metros o en un mayor número de ocasiones en función a la demanda del juego. De esta forma, cuando investigamos las exigencias cinemáticas durante un partido o entrenamiento utilizando la velocidad de carrera como indicador de la intensidad, podemos caer en el error de no valorar correctamente aquellas acciones que han tenido lugar a máxima intensidad en un

corto espacio o tiempo, ya que en él es difícil lograr una alta velocidad de desplazamiento en tales situaciones.

A día de hoy, no existe un consenso en la catalogación de la velocidad a partir de la cual una carrera debe de ser considerada de alta intensidad (lo veremos en los próximos apartados). Como término medio en los trabajos que encontramos en la literatura, esta se sitúa a partir de $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ aproximadamente (Andersson, Ekblom y Krustrup, 2008; Bangsbo, Norregaard y Thorso, 1991; Osgnach, Poser, Bernardini, Rinaldo y Di Prampero, 2010). Sin embargo, cuando un futbolista acelera a máxima intensidad, pero lo hace con un recorrido corto en distancia, puede ser que no alcance tal valor, por lo que la acción, a pesar de ser a máxima intensidad, sería catalogada como media o incluso baja. Por tanto, sería necesario un análisis concreto sobre las aceleraciones (y desaceleraciones) para evitar esta malinterpretación.

Hasta fecha, la magnitud de las aceleraciones ha sido catalogada atendiendo a determinados umbrales absolutos, siendo los más populares de $1\text{-}2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, $2\text{-}3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ y $>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (Ade, Harley y Bradley, 2014; Akenhead, Hayes, Thompson y French, 2013; Hodgson, Akenhead y Thomas, 2014; Osgnach *et al.*, 2010). No obstante, al tratarse de categorías estándares, no tienen en cuenta la capacidad individual de cada sujeto, pudiendo no corresponderse con sus características propias. Otro factor de vital importancia que habría que considerar es que estas zonas de intensidad no tienen en cuenta la velocidad inicial previa a la aceleración, la cual ha demostrado ser determinante en la capacidad máxima de acelerar del sujeto (Sonderegger, Tschopp y Taube, 2016). De esta forma, debemos tener presente que la capacidad de acelerar desde parado es mucho mayor que en movimiento. Dicho esto, podemos entender que la valoración de estas acciones de alta intensidad y la forma en la que han sido analizadas pueden conducir a un error de interpretación en los resultados y, consecuentemente, en las demandas del juego.

En los últimos años han aparecido diferentes propuestas que tratan de dar solución a la problemática planteada. No obstante, hasta el momento, no se ha encontrado una forma válida y fiable para determinar qué y cómo suceden estas acciones. De esta forma, en los próximos apartados desarrollaremos más detenidamente estas cuestiones, justificando la necesidad de estudios dirigidos a comprender la naturaleza de estas actividades, el cual podríamos considerar el objetivo principal de esta tesis doctoral.

CAPITULO 2
MARCO TEÓRICO: Análisis de las demandas de
movimiento (motion analysis).



2. Análisis de las demandas de movimiento (motion analysis).

El análisis de los movimientos (*motion analysis*), o carreras, de los jugadores es un método de registro objetivo que permite valorar la cantidad de trabajo realizada por los futbolistas durante un partido o entrenamiento (Bloomfield, Polman y O'Donoghue, 2007a; Carling, 2011; Carling y Dupont, 2011; Carling *et al.*, 2005, p. 2; Drust *et al.*, 2007; Mohr *et al.*, 2003; Reilly, 2003; Reilly *et al.*, 2008). En base a esta información, los cuerpos técnicos pueden tomar mejores decisiones a la hora realizar programas de entrenamientos, basados en evidencias, que permitan mejorar el rendimiento del equipo y reducir la probabilidad de lesión (Akenhead y Nassis, 2016; Arruda *et al.*, 2015; Carling *et al.*, 2005, p. 88; Sparks, Coetzee y Gabbett, 2017). Éstos permiten el estudio simultáneo de todos los jugadores participantes en el encuentro, proporcionando una gran cantidad de datos de forma rápida y práctica para los entrenadores. Asimismo, los técnicos pueden conocer qué sucede con su equipo y jugadores en las demandas de movimiento tanto en función de su demarcación de juego, como a nivel competitivo, calidad técnico-táctica, resultado del partido, diferencia cultural, edad, capacidad física u otros factores técnico-tácticos relacionados con el juego como las sustituciones, el resultado, la climatología, las expulsiones, etc., elaborando perfiles individuales a cada uno en función a sus características (Bangsbo, 1994; Barbero-Álvarez, Soto y Granda, 2005; Barros *et al.*, 2007; Buchheit, Méndez-Villanueva, Simpson y Bourdon, 2010a; Buchheit, Méndez-Villanueva, Simpson y Bourdon, 2010b; Carling, 2010; Carling, 2011; Carling y Bloomfield, 2010; Carling, Espié, Le Gall, Bloomfiel y Jullien, 2010b; Carling, Gall y Reilly, 2010a; Di Salvo *et al.*, 2007; Di Salvo, Gregson, Atkinson, Tordoff y Drust, 2009; Elklblom, 1986; Krstrup *et al.*, 2003; Méndez-Villanueva, Buchheit, Simpson y Bourdon, 2013; Mohr *et al.*, 2003; Rampinini *et al.*, 2007a; Rampinini, Coutts, Castagna, Sassi e Impellizzeri, 2007b; Rampinini, Impellizzeri, Castagna, Coutts y Wisloff, 2009; Rienzi *et al.*, 2000; Sarmiento *et al.*, 2014). A día de hoy, tales parámetros pueden observarse incluso a tiempo real durante un partido de fútbol.

Como ya se ha comentado, a raíz de tal información, podemos crear perfiles individuales para cada jugador atendiendo características como: posición de juego, roles ofensivos y defensivos, edad, capacidad máxima individual, etc., lo cual permite el

desarrollo de programas específicos para cada uno de ellos en función de sus requerimientos físicos a nivel de intensidad, frecuencia y duración de los esfuerzos realizados (Carling *et al.*, 2008; Carling, Bradley, McCall y Dupont, 2016; Sarmiento *et al.*, 2014). Por otro lado, la monitorización también puede ser de gran utilidad para el diseño de sesiones de recuperación después de partido, especialmente en periodos de alta densidad competitiva (Gaudino, Iaia y Gregson, 2014a, p. 1), así como para elaborar sesiones compensatorias para aquellos jugadores que no participaron en el partido (o lo hicieron brevemente). De esta forma, el análisis del movimiento se ha convertido en una herramienta de gran ayuda para el trabajo desempeñado por entrenadores y preparadores físicos, los cuales se basarán en los resultados de los registros competitivos y entrenamientos para estudiar y planificar estrategias para los jugadores con el objetivo de mejorar sus prestaciones en competición (figura 2), evitando interpretaciones subjetivas en la obtención de la información.

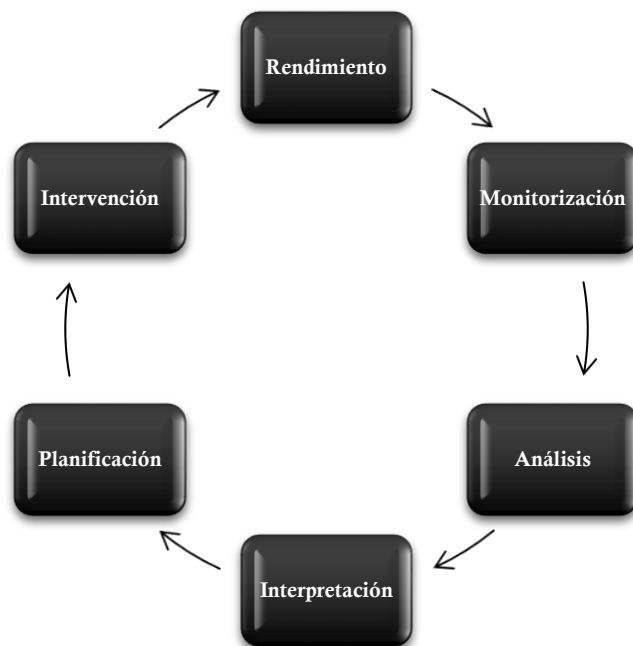


Figura 2. Ciclo de trabajo de entrenadores y/o preparadores físicos. Importancia del feedback proporcionado por el análisis del juego. Modificado de Carling *et al.*, 2005, p. 10.

En las últimas décadas, el desarrollo tecnológico ha favorecido la incorporación al fútbol de diferentes técnicas y herramientas para la monitorización de las demandas de movimiento en partido y entrenamiento. Entre éstas, se encuentran la fotogrametría

tridimensional, el análisis de video, el seguimiento individual con cámara, los sistemas de posicionamiento locales y los GPS (Castellano y Casamichana, 2016, p. 48). En la mayoría de las investigaciones al respecto, las demandas de movimiento del juego observadas se evalúan a través del tiempo pasado, la distancia recorrida y la frecuencia en diferentes categorías de velocidad de carrera (Hoppe, Baumgart, Slomka, Polglaze y Freiwald, 2016). Así, gracias a los sistemas de análisis, podemos saber, entre otras muchas cosas, que el fútbol es un deporte acíclico e intermitente, con cambios de actividad cada 5 s de promedio, donde los jugadores realizan una distancia aproximada de 9-14 km por partido (excluyendo porteros: 5611 ± 613 m), variando esta medida en función de la posición, nivel, edad, momento de forma, etc., realizándose la mayor parte de tal distancia andando o a trote, mientras que a alta intensidad “sólo” se realizan del 8-12% de los metros recorridos, encontrando una acción de este tipo cada 70 s aproximadamente, como ya hemos comentado con anterioridad (Bangsbo *et al.*, 2006; Carling, 2011; Di Salvo *et al.*, 2007; Di Salvo *et al.*, 2009; Drust *et al.*, 2007; Jastrzebsky y Radzimiski, 2015; Northeast *et al.*, 2017; Sarmiento *et al.*, 2014; Stolen *et al.*, 2005; Varley y Aughey, 2013).

La posibilidad de conocer las exigencias del juego nos permite analizar y clasificar los esfuerzos en función del nivel y del colectivo con el que nos encontremos. Por ejemplo, varios estudios han observado como los jugadores de nivel superior recorren una mayor distancia total y a alta intensidad que los jugadores de menor categoría (Rampinini *et al.*, 2009; Rienzi *et al.*, 2000; Sarmiento *et al.*, 2014; Stolen *et al.*, 2005). Bajo este punto de vista, Rienzi *et al.* (2000) encontraron que los jugadores de la Premier League de Inglaterra recorrían de media 15 km más que jugadores de Sudamérica si comparamos la distancia total cubierta por todo el equipo. Estos datos cinemáticos tienen una implicación directa en la evaluación de su capacidad de rendimiento (Ekblom, 1986; Mohr *et al.*, 2003; Reilly, 2003; Rienzi *et al.*, 2000; Stolen *et al.*, 2005). De esta forma, la distancia cubierta en un partido se ha correlacionado positivamente con los valores del consumo máximo de oxígeno (Carling *et al.*, 2005, p. 89). Por tanto, estos registros pueden identificar las fortalezas y debilidades de los jugadores, sirviendo de referencia a entrenadores para futuras intervenciones con el objetivo de mejorar el rendimiento específico del juego según las necesidades concretas de cada jugador.

En esta misma línea, el estudio de las demandas del juego, tomando como referencia el perfil de aceleración y de sprint, puede ser de vital importancia para la consecución de objetivos, ya que la habilidad de acelerar y lograr la máxima velocidad posible en el menor tiempo puede decidir situaciones decisivas en el partido (Northeast *et al.*, 2017). De acuerdo con esta afirmación, Faude *et al.* (2012) encontraron que el sprint era la acción más frecuente en situaciones de gol en primera división de Alemania, tanto para quienes marcaban gol como para quienes asistían. Dicho esto, cuantificar los perfiles de estas aceleraciones y velocidades máximas puede ofrecer una importante información en los estados de fatiga según el nivel competitivo y las posiciones de juego (Bradley, Di Mascio, Peart, Olsen y Sheldon, 2010).

Tomando como referencia esta última perspectiva de análisis, debemos tener presente que, al igual que la tecnología aplicada para la valoración de los esfuerzos en fútbol ha ido evolucionando, las exigencias y las características de éste también lo han ido haciendo. En 2005, Reilly mostró como los jugadores de esa época llegaban a recorrer alrededor de 1.5 km más en un partido que los futbolistas de las generaciones precedentes (figura 3). A día de hoy, empleando esta variable como control del rendimiento, los estudios recientes aportan unos datos similares a los señalados por Reilly en el 2005 (Ingebrigtsen, Dalen, Hjelde, Drust y Wisloff, 2015). En esta misma línea, Carling *et al.* (2005, p. 89) encontraron un incremento de un 10% de las acciones a alta intensidad por partido en jugadores de élite de Francia con respecto a los jugadores de la década anterior. Sin embargo, si comparamos los datos de las acciones a alta intensidad ($>15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) del estudio de Mohr *et al.* en 2003 con los de Bradley *et al.* en 2009 o los de Bradley, Della, Mohr, Castellano y Wilke en 2014 (2430, 2725 y 2140 m, respectivamente), podríamos considerar que el perfil de actividad a esta intensidad no ha continuado aumentando como en la década precedente. Atendiendo a este análisis del perfil de alta intensidad, parece ser que el óptimo desarrollo de las capacidades física de los jugadores se ha convertido en una parte indispensable del fútbol profesional (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 1). Entendemos por tanto que el juego del fútbol es un proceso cambiante y adaptable a la situación contextual en la que se encuentra, habiendo un sinnúmero de factores que afectan al rendimiento de los equipos y jugadores, haciéndolo, por ende, tanto a nivel técnico-táctico como a nivel condicional.

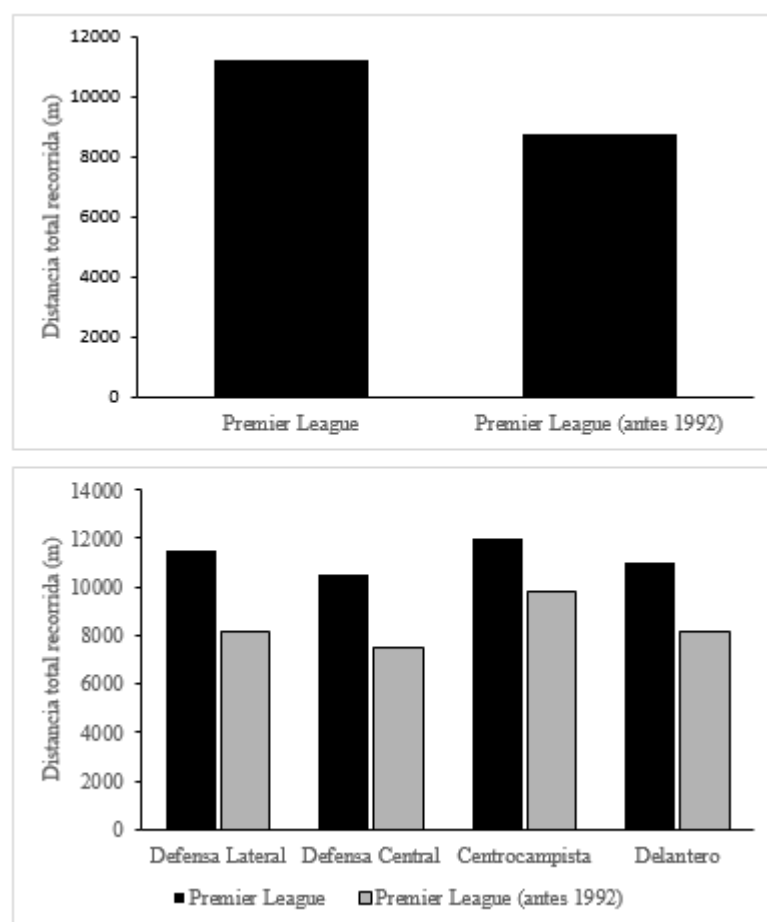


Figura 3. Análisis comparativo de la distancia recorrida entre equipos (total y por posiciones) de una misma liga en generaciones diferentes (Adaptado de Reilly, 2005).

Por otro lado, la monitorización de los entrenamientos y la competición también permiten al cuerpo técnico poder valorar la evolución del rendimiento (en parámetros físicos, en este caso) a lo largo de la temporada, considerando la carga de trabajo tanto en una sucesión de partidos como durante varias semanas de entrenamiento (Carling *et al.*, 2016; Colby, Dawson, Jeasman, Rogalski y Gabbett, 2014; Gregson, Drust, Atkinson y Di Salvo, 2010). Este análisis puede ayudar a prever posibles situaciones de riesgo que puedan aumentar la posibilidad de sufrir lesión (Hulin, Gabbett, Caputi, Lawson y Sampson, 2016; Hulin, Gabbett, Lawson, Caputi y Sampson, 2015). En esta línea, muchos autores han considerado la distancia recorrida a alta intensidad para valorar las fluctuaciones de rendimiento locomotor a lo largo de varios partidos. Mohr *et al.*, (2003) encontraron una gran variación (CV 9.2%) en los metros cubiertos $>18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a lo largo de 129 partidos, aumentándose tal diferencia a lo largo de la temporada (CV 24.8%). Por

su parte, Carling *et al.* (2016) y Gregson *et al.* (2010) también encontraron una alta variabilidad (19.8% y 17.7%, respectivamente) en la distancia recorrida a alta velocidad ($\geq 19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) a lo largo de una temporada, variando este porcentaje en función a la posición de juego de los futbolistas en ambos estudios. Centrándonos en las prestaciones de los jugadores en un periodo de alta densidad competitiva, Odetoyinbo, Wooster y Lane (2007) observaron una disminución en el rendimiento físico (metros recorridos a una velocidad $\geq 19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) después de un periodo de tres partidos oficiales en 5 días. De acuerdo con este análisis, la gestión de los datos obtenidos puede ayudar al entrenador a decidir sobre la participación en competición de un jugador en función de su estado de forma, identificando posibles estados de fatiga consecuencia del gasto producido por el acúmulo de sucesivos partidos y/o entrenamientos (Carling *et al.*, 2005, p. 89).

Debido a la complejidad del fútbol como deporte de equipo y a los diversos factores que influyen en el rendimiento, existe también la posibilidad de analizar la relación de las diferentes variables locomotoras con otros factores de rendimiento tales como el estilo de juego, el sistema de juego, la participación de los suplentes, nivel del equipo, el resultado, la posible expulsión de un jugador, la climatología, etc. (Bradley y Noakes, 2013; Lago-Peñas, Casais, Domínguez y Sampaio, 2010), lo cual puede ayudar en el diseño de los programas de trabajo.

Atendiendo a este análisis de interrelación, recientemente, Buchheit, Modunotti, Stafford, Gregson y Di Salvo (2018) estudiaron los efectos de un gol (a favor o en contra) sobre las demandas de carrera ($> 14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) en los 5 min precedentes y posteriores al tanto, considerando si el equipo iba ganando, empatando o perdiendo en ese momento. Sus resultados mostraron como el rendimiento de carrera durante los 5 min precedentes al gol fueron ligeramente superiores cuando el equipo iba empatando que cuando iba ganando o perdiendo. Según estos autores, esto se podría deber al hecho de que cuando el partido está en empate, ambos equipos mantienen una alta intensidad de carrera intentando modificar el marcador en su favor. No obstante, y como hecho significativo, no hubo diferencias substanciales entre los 5 min previos al gol, tanto en el equipo que marca como el que recibe, lo cual sustenta la idea de otros autores, quienes indicaron que las demandas de carrera son un pobre predictor del éxito en fútbol (Méndez-Villanueva y Buchheit, 2013). Otro hallazgo de esta investigación fue que tras un gol (a favor o en contra), los equipos corrieron menos (con un efecto *de ligero a moderado*) en

comparación al resto del partido, salvo cuando tal gol suponía que el equipo que anotaba se pusiera por delante en el marcador. Por último, los datos revelaron como, cuanto mayor diferencia de goles hay en un partido, menor es el rendimiento de carrera por ambos conjuntos.

Bajo esta perspectiva de análisis, el estilo de juego del equipo es otro factor que se ha demostrado tener influencia con la carga a la que son sometidos los jugadores. Carling *et al.* (2005, p. 96) nos mostraron como las características del modelo de juego influyó sobre las prestaciones de los jugadores. De acuerdo con lo publicado por estos autores, la selección holandesa que marcó un estilo en su época (1974) se caracterizaba por una alta demanda aeróbica en comparación con otros equipos del momento. Por otro lado, equipos de Sudamérica mostraron un perfil más intermitente, con un ritmo alto de juego, pero con una inferior distancia total recorrida comparada con equipos de la Premier League inglesa.

No obstante, los datos referentes a este aspecto de clubes profesionales son escasos y no suele ser habitual su publicación a través de estudios u otros medios (Drust y Green, 2013).

Otro de los elementos influyentes en la carga física a la que está sometida un jugador es la posición de juego y roles que desarrolla (Carling, 2011; Carling *et al.*, 2005, p. 12, 93; Di Salvo *et al.*, 2007; Di Salvo *et al.*, 2009; Drust *et al.*, 2007; Jastrzebsky y Radzimiski, 2015; Reilly, 1997; Sarmiento *et al.*, 2014; Varley y Aughey, 2013). Así, algunos autores han estudiado la relación entre el sistema de juego utilizado por un equipo y los esfuerzos realizados (Bradley *et al.*, 2009; Carling, 2011; Drust *et al.*, 2007). Bradley *et al.* (2009) observaron como el equipo que utilizó una formación 1-4-4-2 realizó más metros a alta intensidad ($>14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) que los que emplearon un sistema 1-4-5-1. Por otro lado, al tratarse de un deporte de oposición, el papel del adversario también ha sido considerado y estudiado desde un punto de vista táctico (Carling, 2011; Rampinini *et al.*, 2007b). Carling (2011) evaluó la influencia de tres sistemas (1-4-4-2; 1-4-5-1/1-4-3-3; 1-4-2-3-1) cuando los utilizaba el equipo oponente. Sus resultados indicaron que la formación del equipo contrario no tuvo influencias en el grado de exigencia física en las distintas posiciones de juego. Sin embargo, el registro de todo el equipo en su totalidad en cuanto a la distancia total cubierta y la distancia recorrida a baja intensidad fue superior

cuando se enfrentaron a un equipo con una formación 1-4-2-3-1. La actividad a alta intensidad total tampoco se vio afectada por la formación del equipo rival. Otro hallazgo de este estudio fue que la distancia cubierta a alta intensidad ($\geq 14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) varió substancialmente cuando el equipo estaba en posesión del balón, corriendo más el equipo (suma de la distancia total de todos los jugadores) cuando se enfrentaban a un equipo con una formación 1-4-4-2 comparada con rivales que empleaban el sistema 1-4-2-3-1.

En esta línea, Mohr *et al.* (2003) encontraron diferencias substanciales superiores (25%; $p < 0.05$) en el rango de trabajo en carreras a alta intensidad ($\geq 15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) en los últimos 15 min de partido en los jugadores que entraron como sustitutos desde el banquillo en comparación con aquellos que comenzaron el encuentro desde el inicio. Del mismo modo, Bradley *et al.* (2013) también observaron una mayor distancia recorrida a alta intensidad ($\geq 14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; 15%; $p < 0.01$; ES: 0.5). En contra a estos resultados, Carling *et al.* (2010b), por su parte, también estudiaron el efecto de las substituciones en competición. Sus resultados mostraron que los jugadores sustituidos no tuvieron una disminución en su actividad de carrera, especulando que los cambios atendían a razones técnico-tácticas del juego en lugar de fatiga. Además, observaron que los DEL que entraron en el campo no mostraron un perfil condicional superior a los compañeros a los que remplazaron, quizás por razones tácticas del propio juego. Por otro lado, los CM que entraron desde el banquillo sí tuvieron unas prestaciones superiores en cuanto al rendimiento medido a través de la distancia total y a alta intensidad comparado con los jugadores que comenzaron de inicio. Como curiosidad, los 10 primeros minutos de estos futbolistas se asemejaron en intensidad a los primeros 10 min de partido del equipo titular, siendo éstos similares a los datos publicados por Carling *et al.* (2008) previamente.

Circunstancialmente, en un partido de fútbol puede haber alguna expulsión de algún jugador. Dentro de la dificultad de su estudio debido a las diferentes condicionantes que puede haber en el contexto de cada expulsión, Carling y Bloomfield (2010) estudiaron los efectos de una expulsión a los 5 min del comienzo del encuentro. Sus resultados mostraron un aumento en la carga de trabajo del resto de compañeros del equipo en inferioridad. Según estos autores, aunque se tratara solo de un encuentro analizado, estos hallazgos podrían dar soporte a suposiciones previas de otros investigadores, los cuales sospechaban que, durante un partido de fútbol, los jugadores no usaban todo su potencial

(a nivel condicional), ya que se vio como los futbolistas elevaron su trabajo para complementar la ausencia del compañero expulsado.

Este último estudio encontró también como los jugadores llevaron a cabo menos acciones a baja intensidad, sobretodo en el último tramo del partido, con el objetivo (según sus autores) de ahorrar energía para las acciones más determinantes que ocurren a una alta velocidad. A esta intensidad, los jugadores recorrieron la misma distancia en los últimos 15 min que en los 15 min previos en la segunda parte. Bajo esta perspectiva, Reilly (2005) hacía referencia en su trabajo a la capacidad de auto dosificación de esfuerzos de cada jugador a lo largo del partido (self-pacing, en inglés). Quizás, este sea uno de los motivos por los cuales en determinados casos se hayan encontrado valores inferiores en la capacidad de correr a alta intensidad hacia finales de un partido, en función de dicha autogestión del esfuerzo, que en muchos momentos puede estar sujeta a factores como el resultado o estado emocional (Bradley y Noakes, 2013; Drust *et al.*, 2007; Lago-Peñas *et al.*, 2010).

Las habilidades técnicas y tácticas están consideradas como factores determinantes para el rendimiento en fútbol (Rampinini *et al.*, 2007b). En este sentido, Carling y Dupont (2011) no observaron una reducción en el rendimiento técnico (número de pases, porcentaje de éxito, número de toques al balón y duelos ganados o perdidos) comparando entre la primera y la segunda parte de juego ni en intervalos de 15 min, a pesar de la disminución en las prestaciones de carrera, tanto en distancia total como en metros recorridos $\geq 14.4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. No obstante, en contra a estas afirmaciones, Rampinini *et al.* (2009) sí encontraron una disminución en el rendimiento técnico (pases cortos y largos, porcentaje de éxito, distancia recorrida con el balón, dribling, tiros, etc.), además de una reducción de las prestaciones físicas (distancia total y $> 14.4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), en la segunda parte del partido con respecto a la primera, por lo que estos autores concluyeron que el estado de fatiga afecta también al éxito de acciones técnicas. En concordancia con este último trabajo, otros autores también relacionaron una mejora en la capacidad aeróbica con un aumento en el éxito del pase durante los partidos (Helgerud, Engen, Wisloff y Hoff, 2001).

Parece lógico pensar que, al ser un deporte de oposición directa, las características y nivel del equipo rival influirán notablemente en los perfiles de actividad de los

jugadores. Siguiendo esta premisa, Rampinini *et al.* (2007b) mostraron como el mayor nivel del contrario aumentaba las demandas de carrera con respecto a partidos en los que se jugaba contra un rival de menor categoría, donde la distancia total y la distancia a alta intensidad ($>14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) cubierta eran menores. En este sentido, Reilly (1997) ya indicó que un equipo con capacidades técnico-tácticas superiores podría tener la habilidad de controlar los tiempos y ritmos de partido, usándolos como autogestión de los esfuerzos en algunos casos. Por tanto, esto podría derivar también en un aumento de las demandas del juego para los equipos con unas hipotéticas capacidades tácticas inferiores como citaba Rahnema, Reilly y Leeds (2002). Otro dato llamativo respecto a la relación entre la capacidad física y las situaciones técnico-tácticas, es que se ha demostrado como los equipos situados en la parte alta de la clasificación realizan una mayor cantidad de acciones a alta intensidad de carrera ($>14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) cuando están en posesión de balón que los equipos que están en las últimas posiciones, los cuales tienen los valores más bajos en este aspecto de todos los equipos de su misma competición. Además, los equipos más exitosos realizan una menor distancia en todos los rangos de velocidad en comparación con los equipos de nivel inferior (Rampinini *et al.*, 2009). Según el estudio de Mohr *et al.* (2003), los equipos de mayor nivel (Serie A, Italia) realizaron una mayor actividad a alta intensidad ($>15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) que conjuntos otras ligas inferiores (Primera División de Dinamarca). En este estudio observaron que los jugadores internacionales realizaban un 28% más de acciones de alta intensidad ($p<0.05$) ($2.43 \text{ vs } 1.90 \text{ km}$) y un 58% más de carreras a velocidad de sprint ($650 \text{ vs } 410 \text{ m}$) que jugadores profesionales de menor nivel, aunque en este trabajo no se incluyeron acciones como saltos, cargas con el rival, aceleraciones/desaceleraciones, etc. Otros investigadores llegaron a similares conclusiones tras observar que los futbolistas que estaban en equipos con una fracción de victorias elevada realizaban más cantidad de carreras a alta velocidad ($>18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y sprint ($>30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) que los jugadores de equipos con un mayor número de derrotas en la misma liga competitiva (Randers, Rostgaard y Krstrup, 2007).

Otra utilidad del análisis de partido es el conocimiento acerca de las características locomotoras de ciertas acciones técnicas en función a la posición de juego. En este sentido, un estudio llevado a cabo con jugadores ingleses mostró como los DEL recibían el balón a una velocidad de carrera alta con más frecuencia que otras demarcaciones como defensas o CM. Por otro lado, estos últimos realizaban un mayor número de giros que sus compañeros, al mismo tiempo que los DC fueron los que mayor número de saltos y duelos

aéreos tuvieron (Carling *et al.*, 2005, p. 94). Además de estos estudios que valoran directamente la relación entre acciones técnicas y actividad motriz, la literatura científica nos ofrece información de gran utilidad sobre los perfiles condicionales de cada demarcación en función a diferentes variables como velocidad de carrera, aceleraciones, saltos, etc. En este sentido, recientes aportaciones como las de De Hoyo *et al.* (2017), por ejemplo, nos han mostrado que, en función a la demarcación del jugador, las velocidades iniciales a las que se inician las aceleraciones de gran magnitud difieren. En su estudio, estos autores observaron que los DEL y los CL realizaron substancialmente un mayor número de aceleraciones a alta intensidad (>75% de la aceleración máxima) (6.20 ± 2.68 y 5.56 ± 383 , respectivamente) cuando la velocidad previa al inicio de la aceleración fue superior a $14.4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ en comparación al resto de compañeros de equipo durante partidos oficiales. El análisis de este tipo de variables, junto a otras (las cuales se irán desarrollando a lo largo de los siguientes apartados), permite a los entrenadores conocer el grado de especificidad a los que son sometidos sus jugadores atendiendo a sus demarcaciones. Este hecho puede ayudar a mejorar el diseño de tareas, tanto desde una perspectiva técnica como táctica o condicional, ya que permite conocer el grado de especificidad de las mismas desde el punto de vista locomotriz.

Una de las ventajas actuales del análisis de partido es la posibilidad de observación en tiempo real de las prestaciones de los jugadores. Si bien no hay mucha información al respecto, el estudio del rendimiento condicional y sus fluctuaciones a lo largo del partido pueden ayudar al cuerpo técnico a tomar decisiones *in situ* sobre posibles cambios de jugadores o sistema. En este sentido, el análisis estadístico de las acciones técnico-tácticas del juego, junto a los datos de las demandas de movimiento ofrece un amplio abanico de información que puede ser de gran utilidad. En base a los estudios indicados previamente, las acciones que suceden a alta intensidad (carreras a alta velocidad, aceleraciones, etc.) podrían ser los mejores parámetros para el control en directo del desempeño de los futbolistas durante la competición, ya que, además de tener un alto grado de influencia en el resultado, ofrecen una información más precisa del estado de fatiga del jugador (Bradley *et al.*, 2010; Faude *et al.*, 2012; Northeast *et al.*, 2017).

Tan importante como conocer los factores que determinan el rendimiento del jugador es velar por su integridad. El fútbol es un deporte con alto índice lesivo (17-24 lesiones por cada 1000 h de juego) (Rahnama *et al.*, 2002). De esta forma, conocer los

patrones de movimiento y las cargas de trabajo soportadas por los jugadores facilitará la predicción y prevención de lesiones, diseñando estrategias que se adapten a las necesidades del juego y evitando que éste suponga un estímulo excesivo que pueda disminuir su rendimiento o derivar en lesión. En este sentido, el descenso del estado de forma desde el punto de vista condicional hacia el final del encuentro podría sugerir, en algunos casos, la necesidad de descanso del jugador, lo cual le hace ser también susceptible de sufrir sobreentrenamiento (Carling *et al.*, 2005, p. 99; Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi y Marcora, 2004; Le Gall, Carling, Reilly, Church y Rochcongar, 2006; Rahnama *et al.*, 2002). Consecuentemente, entender las exigencias de la competición, además de orientar hacia la especificidad del trabajo en búsqueda de un rendimiento óptimo, nos permitirá diseñar programas adecuados donde el cuerpo técnico conozca la carga de entrenamiento, recuperando a los jugadores después de determinados esfuerzos y buscando indicios, o determinados umbrales de carga, que nos puedan servir para reducir la probabilidad de sufrir lesión.

Uno de los índices que nos pueden ayudar a anticipar situaciones de riesgo es la distancia recorrida a alta intensidad. En algunos casos, jugadores que han recorrido un 35% más distancia a alta intensidad ($>19.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) de lo normal, han acabado sufriendo una lesión (Carling *et al.*, 2010a). En esta línea, Rahnama *et al.* (2002) informaron de un aumento en incidentes y riesgo de lesión en los primeros 15 min de cada parte y en los últimos 15 min de juego. Esto podría ser debido a la alta intensidad de los primeros momentos del encuentro, los cuales son los más altos del partido, así como a la fatiga experimentada por los jugadores en los minutos finales (Carling *et al.*, 2008; Carling *et al.*, 2010a), ya que ésta afecta a la estabilidad articular (Jackson, Gutierrez y Kaminski, 2009), producción de fuerza (Aprianono, Nunome, Ikegami y Sano, 2006) o mecánica de carrera (Sanna y O'Connor, 2008). Tomando como referencia las aportaciones de estos trabajos, podemos concluir que las acciones a alta intensidad son las que más riesgo pueden presentar para el jugador. Además, esto se puede ver acentuado cuando hay un aumento de la fatiga como consecuencia del esfuerzo previo acumulado. En esta línea, Rahnama, Reilly, Lees y Graham-Smith (2003) encontraron como el aumento de fatiga provocaba una reducción de la capacidad de aplicar fuerza en los jugadores, afectando fundamentalmente a los extensores y flexores de rodilla, variando consecuentemente la ratio isquiosurales/cuádriceps (inferior), lo cual incrementaba el riesgo lesivo.

Con el objetivo de analizar los fenómenos asociados a los momentos previos y durante los cuales una acción derivaba en lesión, Carling *et al.* (2010a) encontraron que los jugadores generalmente se desplazaban desde velocidades moderadas hacia intensidades superiores, habiendo una disminución posterior de la velocidad de carrera en el momento previo a la lesión. Asimismo, y en contraste con lo mencionado anteriormente, los autores no encontraron relación entre los 5 min de juego más intensos y la aparición de lesión. Sin embargo, cuando el tiempo de recuperación entre esfuerzos de alta intensidad ($>19.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) con respecto a los periodos normales se redujo (de 99 a 33 s aproximadamente) aumentó el número de incidencias lesivas. De igual modo, estos autores no encontraron diferencias significativas en cuanto a la distancia o duración de la carrera a alta intensidad cuando estas eran superiores a los valores normales, concluyendo que el mayor riesgo en las acciones de estas características se producía cuando el sujeto realizaba acciones a una intensidad superior a la habitual. En vista de los resultados, estos investigadores indicaron que las lesiones durante un partido se producían a velocidades relativamente altas ($\sim 17 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y con una reducción del tiempo de descanso entre esfuerzos. Del mismo modo, aceleraciones de gran magnitud, que van desde bajas a altas velocidades de desplazamiento hasta llegar a intensidades por encima de $23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, también parecen ser acciones de riesgo. En vista de estos resultados, algunos investigadores han destacado la importancia de un trabajo preventivo encaminado al trabajo específico de desaceleraciones y fuerza para prevenir lesiones (Carling *et al.*, 2008; Le Gall *et al.*, 2006). Siguiendo estos argumentos, algunos autores han citado la importancia de entrenar aquellas acciones o momentos del partido que se desarrollan a una intensidad por encima de lo normal (*worst case scenario*), tanto en intensidad y duración como densidad, para que el futbolista esté preparado para afrontarlas con las mayores garantías posibles (Carling *et al.*, 2010a; Gabbett *et al.*, 2016).

Todos estos aspectos tienen, además, una repercusión directa sobre el jugador que se encuentra en proceso de readaptación tras una lesión, ya que su análisis pormenorizado nos permitirá realizar una aproximación controlada hasta llegar, e incluso sobrepasar, las exigencias del juego, garantizando, en la medida de lo posible, una vuelta al entrenamiento y al trabajo con las mayores garantías.

Bajo esta misma perspectiva de análisis, distintos trabajos han mostrado como la situación ambiental en la que se desarrolla el partido o entrenamiento tiene una influencia

en el rendimiento (Drust *et al.*, 2007). Algunos estudios han reflejado en climas fríos una reducción en el rendimiento de los jugadores además de existir un aumento en el riesgo de lesión, entre otras cosas, por el estado de los terrenos de juego (congelado en algunos casos) (Carling *et al.*, 2005, p. 100). En contra de estos argumentos, Carling *et al.* (2011) sugirieron que los encuentros jugados en climas fríos no afectaron al rendimiento físico de los jugadores, valorando esto a través de la distancia total y según categorías de intensidad de carrera. Por su parte, Mohr *et al.* (2010) encontraron una reducción de los esfuerzos a alta intensidad ($>16.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) en el final de un partido amistoso (menos de un 54% comparando los últimos 15 min con el primer cuarto de hora de juego) con jugadores españoles en un ambiente caluroso (31°C aproximadamente). Otros trabajos llevados a cabo en el fútbol turco también mostraron esta reducción de las acciones a alta intensidad comparando la primera con la segunda parte (-19%) cuando la temperatura era superior a 30°C (Ozgüven, *et al.*, 2010). Por tanto, sabiendo estas circunstancias, podremos anticipar determinadas estrategias para reducir el efecto de las bajas o altas temperaturas como un calentamiento apropiado y una vestimenta acorde al contexto, hidratación, etc.

En conclusión, podemos ver la importancia que adquiere el conocimiento de las exigencias a las que están sometidos los futbolistas, así como qué variables, y en qué medida, pueden afectar tanto a su rendimiento físico como a su integridad. El conocimiento preciso y detallado de las demandas de partido resulta ser uno de los pilares fundamentales para cualquier profesional del entrenamiento, ya que de estos resultados se derivarán futuras estrategias para mejorar el rendimiento del equipo, ya sea con entrenamiento específico o reduciendo la probabilidad de sufrir lesión. De igual modo, puede ofrecer una ayuda a entrenadores para tomar decisiones de carácter técnico o táctico, ya que modificaciones en estos parámetros pueden afectar al desarrollo condicional de los futbolistas.

2.1. Sistemas de análisis.

Cuando hablamos del análisis de partidos, nos referimos a todos aquellos registros objetivos y al estudio de las conductas que aparecen durante la competición. Dentro de tal valoración encontraríamos el estudio de las demandas de movimiento, en las cuales nos centraríamos en las características de las acciones y actividades de desplazamiento individuales que realiza cada jugador de forma cuantitativa (Carling *et al.*, 2005, p. 2, 4). Diversos métodos han sido empleados a lo largo de los años para registrar las exigencias a las que son sometidos los futbolistas durante la competición. El desarrollo de la tecnología ha propiciado una evolución en su eficacia y eficiencia. En sus comienzos, los registros con técnicas manuales (Reilly y Thomas, 1976) fueron dando paso a técnicas más evolucionadas como grabaciones magnetofónicas, tabletas digitales o software específicos, llegando a sistemas de rastreo semiautomático a través de video. En la actualidad, contamos con métodos automáticos como el Venetrack (a través de video) y sistemas de radiofrecuencia o los GPS, los cuales son, a día de hoy, los más empleados en la literatura científica (Castellano y Casamichana, 2014; Dobson y Keogh, 2007; Dufour, 1993; Frencken, Lemmink y Delleman, 2010; O'Donoghue, Boyd y Bleakley, 2001; Redwood-Brown, Cranton y Sunderland, 2012; Rienzi *et al.*, 2000). De acuerdo con estas afirmaciones, en los próximos apartados mostraremos los principales sistemas disponibles para afrontar el análisis del movimiento en fútbol. Del mismo modo, se mostrará tanto la evolución histórica como las principales características de los diferentes dispositivos utilizados, analizando las ventajas e inconvenientes de cada uno.



Figura 4. Análisis de partido mediante video en partido oficial. Imagen cedida por Daniel Muñoz Reina.

2.1.1. Análisis con cámaras de vídeo.

Los sistemas de vídeo computarizados han ido avanzando significativamente en las últimas décadas. La tecnología digital ha cambiado considerablemente la forma de analizar las demandas de partido. A día de hoy, estos medios permiten a los entrenadores el estudio tanto del rendimiento colectivo como individual, facilitando el diseño de estrategias dirigidas a la mejora de las prestaciones de los deportistas a nivel físico, técnico o táctico (figura 5).

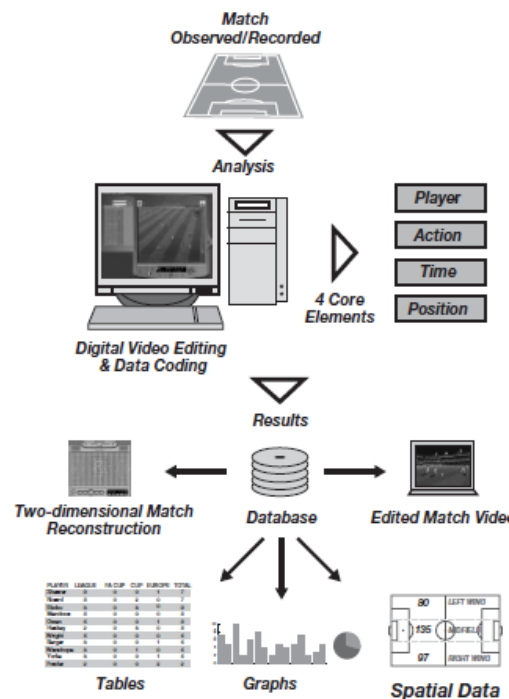


Figura 5. Proceso de análisis de partido computarizado (Carling *et al.*, 2005, p. 37).

El análisis mediante video tiene una serie de ventajas que la catalogan como una herramienta importante para el rendimiento (Carling *et al.*, 2005, p. 28-29):

- ✓ Proporciona un registro permanente de video, el cual puede ser visto tantas veces como sean necesario, así como permite archivar tal documento para visualizar en un futuro.
- ✓ Puede aportar otra perspectiva a la información que los entrenadores han observado, o no, durante el partido.
- ✓ Hace posible centrar el estudio en un jugador o línea concreta y valorarlos de forma particular.
- ✓ Permite repetir la visualización de ciertas acciones con el objetivo de corregir determinadas situaciones.
- ✓ Ofrece información en tiempo real que puede ser usada durante la pausa o post partido.
- ✓ Es un medio atractivo para presentar a los jugadores y discutir sobre la propia secuencia de determinadas acciones, más allá de meros datos estadísticos.

Dentro de la monitorización de las demandas del juego, tanto el análisis de las carreras durante partido como la forma de evaluar el rendimiento físico del jugador han ido evolucionando en los últimos 30 años desde el primer estudio realizado por Reilly y Thomas (1976). Durante los años 90 y comienzos del año 2000, la mayoría de las investigaciones que cuantificaban el rendimiento de los desplazamientos de los jugadores de alto nivel empleaban el método de análisis manual del movimiento utilizado en este primer artículo. Este consistía en la colocación de videocámaras en el lateral del campo, a la altura de la línea central, a unos 15 m y a unos 35 m de la línea que delimita el terreno de juego. Cada cámara era usada para grabar a un solo jugador y después ser analizado según sus actividades. Dichas acciones se clasificaban desde parado o andando hasta velocidad de sprint. Se registraba la duración, frecuencia y tiempo total en cada actividad, además de ser analizadas en periodos concretos de tiempo de partido. Asimismo, se obtenía la distancia total recorrida con el sumatorio de todos los metros realizados a cada velocidad específica. Este método nos permitía conocer los perfiles cinemáticos según las posiciones de juego, facilitando el análisis de las diferencias entre cada una de ellas

(figura 6) (Bangsbo *et al.*, 1991; Carling *et al.*, 2008; Helgerud *et al.*, 2001; Impellizzeri *et al.*, 2006; Mohr *et al.*, 2003; Rampinini *et al.* 2009; Rienzi *et al.*, 2000). Como podemos imaginar, esta forma resultaba bastante laboriosa e intensa, necesitando muchas horas para obtener un registro completo.

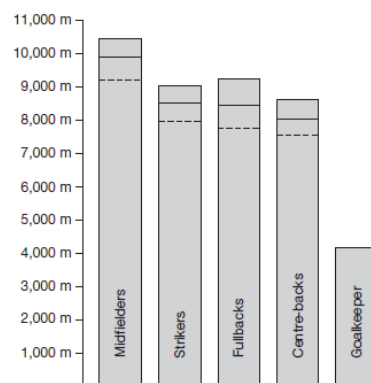


Figura 6. Distancia recorrida según las posiciones de juego. Basado en Reilly y Thomas (1976) (Carling *et al.*, 2005, p. 6).

La evolución de la tecnología supuso la incorporación de dispositivos electrónicos al análisis de los patrones de movimiento. Éstos se basaban en procesos matemáticos para el seguimiento automático con sofisticados procesos informáticos. Tienen su origen en la propuesta original de Ohashi, Togari, Isokawa y Suzuki (1988), la cual calculaba la posición de los jugadores y su velocidad a través de técnicas de trigonometría. Este sistema registraba los movimientos de los jugadores como cambios angulares, los cuales se llevaban a cabo por cámaras situadas alrededor del campo con una frecuencia de monitorización cada 0.5 s. La principal limitación era que solo podía ser observado un único futbolista, dificultando por tanto el análisis del equipo al completo, así como la creación de perfiles individuales o el análisis de partido según sus particularidades como resultado, sistema empleado, marcador, etc.

Más tarde, surgió otro medio similar, el cual realizaba un seguimiento individual del jugador a través de un sistema por ordenador llamado Trackperformance (Sportstec,

Warriewood, NSW, Australia). El sistema de rastreo de los deportistas se realizaba mediante marcas alrededor del campo, las cuales eran usadas como medidas de referencia. Este modelo permitió representar la actividad de los jugadores en un mapa a escala para visualizar sus movimientos. El Trackperformance mostró unos niveles de precisión y fiabilidad intra e inter observador bastantes aceptables, con unos errores de medida del 5% para las distancias y un coeficiente de correlación de $r = 0.98$ (Burgess, Naughton y Norton, 2006; Carling *et al.*, 2008; Edgecomb y Norton, 2006).

Años después aparecieron sistemas más informatizados como el análisis de partido con video semi-automático, el cual permitía conseguir los datos del partido apenas horas después de finalizar éste (Rampinini *et al.* 2009). Además de su eficiencia, estas mejoras permitieron analizar una amplia gama de parámetros relacionados con el rendimiento físico (Di Salvo *et al.*, 2007; Rampinini *et al.*, 2007a). Del mismo modo, era posible obtener al mismo tiempo datos desde una perspectiva técnica y realizar análisis comparativos de qué sucedía en el juego cuando el jugador estaba en posesión del balón o no (Di Salvo *et al.*, 2007).

El avance en los sistemas de video computarizado fue desarrollándose con el paso de los años, apareciendo nuevos sistemas en el mercado que ofrecían estos servicios a los clubes. Uno de ellos fue Amisco Pro[®], desarrollado a mediados de los años 90. Esta firma ofrecía información de las exigencias del juego de todos los jugadores que participaban en el partido (Carling *et al.*, 2005, p. 39). Amisco registraba (y registra) tanto los movimientos de los jugadores, árbitros o incluso el balón con una frecuencia de 25 Hz (Di Salvo *et al.*, 2007). De similares características es el sistema ProZone[®] (Di Salvo, Collins, McNeill y Cardinale, 2006; Rampinini *et al.*, 2007ab). Ambos ofrecen a los técnicos una cantidad de datos inmensa para el estudio de las situaciones acontecidas en un partido, permitiendo contrastar con otros componentes de carácter técnico y táctico, ya que, además de los datos, ofrecen una reconstrucción en 2 dimensiones donde se pueden observar los movimientos conjuntos de los participantes en el encuentro, así como el rival y el balón.

La instalación de estos sistemas requiere de la colocación de varias cámaras fijas en ciertas posiciones del campo minuciosamente calculadas teniendo en cuenta las dimensiones del terreno de juego y el hecho de que permitan una completa visualización

del mismo (figura 7) (Carling *et al.*, 2008). La obtención de la información en 2 o 3 dimensiones se llevaba a cabo mediante trigonometría y algoritmos matemáticos de los cuales se encargaban sistemas de transformación de las coordenadas obtenidas por las cámaras tales como el “*Direct Linear Transformation*” (Shiokawa, Takahashi, Kan, Choi y Deguchi, 2003). De esta forma, el jugador podía ser analizado de forma externa, sin la necesidad de que llevara ningún dispositivo o chaleco durante el encuentro. El hándicap de estos dispositivos radica en el alto coste que conlleva, además de limitar el análisis exclusivamente a partidos y, además, como equipo local, no siendo válidas para el registro de entrenamientos o en partidos en campo contrario. Sin embargo, a pesar de ser las firmas más empleadas en Europa, estos sistemas necesitaban de una verificación continua por parte de un operador para garantizar que el registro se llevaba a cabo de forma correcta.



Figura 7. Cámaras de Amisco ® en estadio de fútbol profesional (De Cotta, 2013).

Los primeros avances al respecto fueron el empleo de cámaras de mejor calidad y métodos de codificación de las acciones de forma automatizada empleando softwares específicos. En esta línea, Bloomfield *et al.* (2007a; Bloomfield, Polman y O'Donoghue, 2007b; Bloomfield, Polman y O'Donoghue, 2007c) usaron el PlayerCam, de Sky Sports Interactive Service (de la emisora británica Sky). La codificación de las imágenes fue sincronizada por el programa Noldus Observer 5.0 Video-Pro, el cual calculaba de forma automática el tiempo pasado en cada categoría de movimiento. Esta marca mostró tener altos niveles de objetividad, fiabilidad y validez (Carling *et al.*, 2008).

En Brasil se desarrolló Dvideo® el cual contaba con un sistema que realizaba el rastreo en un 95% de forma automática (Barros *et al.*, 2007), aunque la cantidad de imágenes de video por segundo era menor que las otras dos competidoras europeas. Esto resulta de gran importancia para la fiabilidad de los datos, ya que algunos autores han demostrado como, a bajas frecuencias de imágenes, el error en las distancias cubiertas por los jugadores llega a ser mayor que con sistemas de grabación con un mayor número de Hz (Fernandes y Caixinha, 2003).

Otro hándicap que tenían estos sistemas de video era la sensibilidad a cambios de luz que presentaban en algunos casos debido a las condiciones climatológicas, los cuales no permiten siempre diferenciar en determinadas circunstancias entre jugadores en ciertas zonas del campo. Además, la mayoría no permitían una visualización en tiempo real durante el partido, lo que hacía que sus resultados no estuvieran disponibles hasta pasados 1 o 2 días tras el encuentro. Una de las primeras firmas en incorporar el análisis en tiempo real fueron DatatraX® y Tracab® (Ballesta, García, Fernández y Alvero, 2015; Carling *et al.*, 2008) (figura 8). Ambas, aunque parecidas, difieren en algunos aspectos como la forma de seguimiento de los jugadores. Mientras Tracab® utiliza algoritmos matemáticos provenientes de la industria militar, DatatraX® usa el reconocimiento de píxeles para el seguimiento automático de los deportistas, además de reconocimiento de voz. Esto hace necesaria la presencia de 3 técnicos encargados de tales funciones. Ambos métodos permiten obtener información detallada en directo durante un partido.



Figura 8. Operarios de la firma TRACAB® durante un partido de fútbol (Panorama Audiovisual, 2013).

2.1.2. Análisis mediante dispositivos electrónicos.

Otras formas de seguimiento de las carreras de los jugadores son los dispositivos eléctricos, los cuales deben de ser llevados durante el partido. Esto presenta el principal inconveniente de hacer al jugador “cargar” con él durante el encuentro. Además, hasta hace unos años, estaban prohibidos durante partidos oficiales por temas de seguridad, por lo que los estudios al respecto en competición se han retrasado hasta hace pocos años, cuando se ha permitido su utilización. En favor a estos medios con respecto al video análisis tendríamos su portabilidad y uso tanto en entrenamientos como en partidos, ya que los dispositivos electrónicos, como veremos a continuación, permiten su transporte de forma fácil y sencilla, mientras que los sistemas de video análisis requieren de una instalación previa a su uso, condicionando su empleo en entrenamientos o partidos amistosos.

Los dispositivos electrónicos han sido descritos como el futuro de la computarización y los sistemas de seguimiento para el análisis en partidos debido a la velocidad y precisión en el procesamiento de la información (Carling *et al.*, 2005, p. 42). Estos medios inalámbricos permiten la adquisición de datos en tiempo real, los cuales son emitidos por el dispositivo y recibidos en un ordenador central donde se integra la información de todos ellos al mismo tiempo. Estos aparatos consisten en un pequeño y ligero microchip situado en un chaleco especial o en una banda alrededor del pecho.

Uno de los primeros sistemas de este tipo fue desarrollado por una compañía alemana llamada Cairos AG. Éste se diseñó inicialmente para ayudar a árbitros y asistentes a tomar decisiones tales como si el balón había pasado la línea de gol o si existía fuera de juego en tiempo real. Se basaban en un ligero microchip transmisor que se colocaba en la espinillera o la camiseta del jugador y en el balón. Esto permitía un registro en 3 dimensiones con más de 200 Hz, las cuales eran tomadas por los receptores (situados cuidadosamente alrededor del campo) y enviadas a un ordenador central en directo, permitiendo la transformación y representación de los resultados. Sin embargo, el número de impactos que sufrían estos dispositivos por el contacto entre jugadores o el golpeo del balón en el travesaño de la portería era muy elevado, dañándolos en muchas ocasiones (Carling *et al.*, 2005, p. 42-43).

Otro de estos sistemas es el LPM Soccer 3D[®] (siglas que corresponden a Local Position Measurement en inglés), creado por Inmotio, el cual proporciona información sobre el posicionamiento de jugadores con una frecuencia de 100 Hz, dando valiosa y detallada información sobre actividades tales como aceleraciones, frenadas, cambios de dirección, etc. (figura 9). Este sistema combina los datos de carrera con datos de frecuencia cardiaca, siendo también sincronizados con el video propio para mejorar su estudio y análisis. Como limitación, en ciertos momentos podrían producirse interferencias con otros sistemas electrónicos cercanos (Carling *et al.*, 2008).



Figura 9. Funcionamiento, dispositivo y representación del sistema Inmotio.

Otra herramienta alternativa ha sido el Briotrainer[®] producido por Citech Holdings Pty Ltd, la cual ofrecía información tanto de carga externa, como de otros parámetros de carga interna como la temperatura corporal, frecuencia cardiaca y nivel de hidratación además de los datos de GPS (Carling *et al.*, 2008).

Por otro lado, en los últimos meses, se han incorporado al mercado dispositivos que permiten una valoración de las exigencias de carrera tanto en instalaciones de interior como de exterior gracias a la tecnología ultrawideband (radiofrecuencia). En esta línea, los dispositivos WIMU[®] PRO ofrecen, según el fabricante, una precisión <10 cm en ambos contextos (indoor y outdoor), ya que combina el uso de los datos de GPS y ultrawideband (RealTrack Systems, 2018). Esta tecnología de radiofrecuencia ha demostrado tener mejores valores de precisión, fiabilidad y fiabilidad entre unidades que los dispositivos GPS para la determinación de la distancia cubierta y velocidad en fútbol (Bastida, Gómez, de la Cruz y Pino-Ortega, 2018). Además, estudios recientes han concluido que este dispositivo cuenta con una alta fiabilidad y validez para la valoración

de la capacidad de salto en deportistas (índice de correlación interclase = 0.96 y $r = 0.95$ en el salto con contramovimiento), presentándose como una herramienta de gran utilidad para el estudio de esta capacidad (Pino-Ortega, García-Rubio y Ibáñez, 2018). De similares características es el ClearSky T6, de la marca Catapult, el cual también cuenta con la tecnología ultrawideband (10 Hz) para el registro de la actividad tanto en espacios indoor como outdoor. Luteberget, Spencer y Gilgien (2018) concluyeron que este dispositivo puede ser utilizado para el análisis de los perfiles de actividad en deportes colectivos de interior. Sin embargo, los cálculos de la velocidad instantánea no fueron válidos, sugiriendo estos autores la necesidad de aplicar filtros para mejorar la validez de los datos. Con vistas al futuro, serían necesarias futuras investigaciones con respecto al uso de esta tecnología y su aplicación al análisis de las demandas de movimiento de los deportes colectivos.

2.1.2.1. Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

En las últimas décadas, los GPS han ido apareciendo en el mundo del deporte. Estos ofrecen una alternativa para las mediciones de velocidad y posicionamiento durante actividades que requieren desplazamiento. Tales dispositivos han ido mejorando en validez y fiabilidad en los últimos años para la valoración de movimientos en cortas distancias, cambios de dirección y velocidad, ofreciéndose como una alternativa para la monitorización de entrenamientos y ejercicios llevados a cabo en el exterior (Aughey, 2011; Cummins, Orr, O'Connor y West, 2013; Gaudino *et al.*, 2014a, p. 3).

Los dispositivos GPS son un sistema de radionavegación vía satélite desarrollado y gestionado por el departamento de defensa de los EEUU y creado con fines militares (Castellano y Casamichana, 2014). Los satélites transmiten señales a los receptores GPS para determinar la ubicación, velocidad y dirección de los dispositivos (Schutz y Herren, 2000) (figura 10). Esta tecnología permite conseguir datos en tiempo real y almacenarla en una memoria para descargarla y analizarla posteriormente en un ordenador (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 5; Schutz y Chambaz, 1997). Esto se realiza mediante la sincronización de dos relojes atómicos (satélite y receptor GPS) a través de la cual se contrasta el tiempo

del recorrido realizado por la señal. Así se consigue el cálculo de la distancia, ya que tanto su velocidad como el tiempo del trayecto son conocidos. Se basa por tanto en la medición de tiempos, partiendo como referencia del tiempo de retardo de la emisión de la señal de los satélites hasta la recepción de los dispositivos.

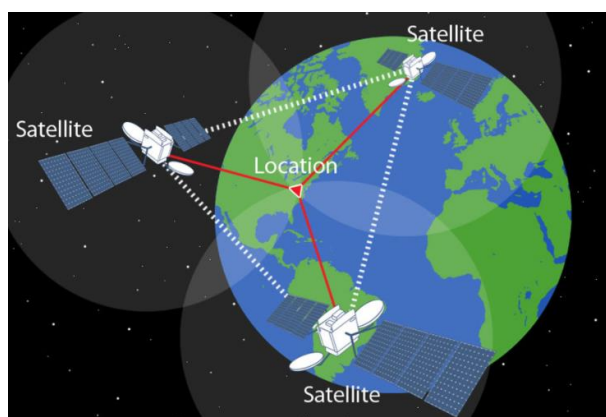


Figura 10. Representación esquemática del funcionamiento de los GPS (Perez, 2015).

El empleo de esta tecnología se ha ido aplicando al deporte de competición, ya que puede proporcionar información precisa y objetiva que permite cuantificar las demandas exigidas por una actividad, evaluar el rendimiento deportivo, analizar diferentes intensidades de trabajo según demarcaciones de juego, monitorizar cambios en el rendimiento a lo largo de la competición, etc. Esto puede resultar de gran utilidad para entrenadores y preparadores físicos a la hora de diseñar futuros programas de entrenamiento con el objetivo de optimizar el rendimiento, recuperarse lo antes posible de los esfuerzos y reducir la probabilidad de lesión a través de la creación de perfiles de actividad para cada deportista (Carling *et al.*, 2008; Cummins *et al.*, 2013; Sarmento *et al.*, 2014). Entre sus variables más empleadas se encuentran la distancia recorrida en términos absolutos, la duración de la carrera a diferentes intensidades de velocidad, las velocidades pico y promedio, la distancia cubierta a diferentes umbrales de velocidad, la relación trabajo/descanso, etc. (Buchheit *et al.*, 2010b; Castellano y Casamichana, 2014; Larsson, 2003).

Los GPS son una de las tecnologías más usadas a día de hoy tanto en los clubs de fútbol como por los investigadores. La reciente aprobación para su uso en partidos oficiales en la temporada 2015-2016 en España y resto del mundo (Fédération Internationale de Football Association, 2015; Real Federación Española de Fútbol, 2015) ha propiciado un auge en el número de investigaciones llevadas a cabo durante partidos oficiales, las cuales no se había podido realizar hasta ahora por las limitaciones en su uso. Como hemos indicado, su funcionamiento se basa en receptores individuales (pequeños y de poco peso) que lleva cada jugador en un mallot especial en la zona dorsal (entre las escápulas), proporcionado normalmente por la marca del dispositivo (Owen, Venter, du Toit y Kraak, 2015). Estos captan las señales de los satélites que están en órbita para determinar la posición y calcular la velocidad de los movimientos realizados, distancias y otras variables como la altitud (Carling *et al.*, 2008; Larson, 2003).

En cuanto a las ventajas de los GPS con respecto a otros métodos de evaluación, podemos citar la portabilidad a cualquier lugar, la validez y fiabilidad de la medida y la posibilidad de realizar un análisis en directo de las situaciones de partido y/o entrenamiento. En este sentido, debido al auge en su utilización y al avance de esta tecnología, han ido apareciendo consecuentemente un gran número de estudios que demuestran la validez de cada marca y modelo. Esto resulta fundamental, ya que es la forma de garantizar que los datos proporcionados con esta tecnología sean fiables o no, y cuál es la medida del posible error que conlleva. Así, su validez se ha ido estudiando desde las primeras unidades que registraban a 0.5 Hz (Garmin GPS 45) (Schutz y Chambaz, 1997), pasando por los dispositivos de 1 Hz (GPSports SPI 10) (media de error en distancia de 4.8%) (Edgecomb y Norton, 2006), de 5 Hz (Catapult MinimaxX) (error de distancia: $r = 0.90$; alta intensidad: $r = 0.93$; sprint = 0.93) (Randers *et al.*, 2010), o de 10 Hz (Catapult MinimaxX 10Hz) (CV = 1.30% en sprint 15 m; CV = 0.78% en sprint 30 m) (Castellano, Casamichana, Calleja-Gonzalez, San Román y Ostojic, 2011).

En la mayoría de los casos, los resultados parecen indicar que, a medida que aumenta la capacidad de registro por segundo del dispositivo (Hz), éste mejora en fiabilidad y validez. Para que sirva como ejemplo, los GPS de 1 Hz (GPSports SPI Elite) tuvieron una correlación con el sistema Amisco de $r = 0.62$ para la distancia total, $r = 0.54$ a alta intensidad de carrera, y $r = 0.42$ en sprint; mientras que con los GPS de 5 Hz (Catapult MinimaxX 5 Hz) fueron $r = 0.90$, 0.93 y 0.93, respectivamente (Randers *et al.*,

2010). No obstante, Harley, Lovell, Barnes, Portas y Weston (2011) encontraron que los datos de GPS y los de sistemas de video semiautomáticos no son intercambiables entre sí, por lo que no es recomendado el uso simultáneo de ambos para la valoración de una misma actividad. En otro estudio de fiabilidad con modelos de la misma marca comercial (Catapult MinimaxX de 5 y 10 Hz), los autores mostraron un CV del 1.9% en las unidades de 10 Hz, y de 6.0% en las de 5 Hz durante aceleraciones, desaceleraciones y a carrera constante (Varley, Fairweather y Aughey, 2012). Por tanto, los mayores errores de medida asociados a los GPS de 1 y 5 Hz frente a los GPS de 10 Hz muestran que la frecuencia de registro puede ser el factor determinante para la precisión de la distancia recorrida y la velocidad de carrera (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 10). De acuerdo con esto, algunos autores han indicado que debemos de ser cautos con los datos de velocidades superiores a $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Johnston *et al.*, 2012).

Del mismo modo, la fiabilidad de las distancias medidas parece que mejora con la duración de la actividad, ya que el CV disminuyó de 32.4% a 9.0% para las distancias de 10 y 40 m a sprint, respectivamente (Catapult MinimaxX 1-5 Hz) (Jenning, Cormack, Coutts, Boyd y Aughey, 2010). Si analizamos la fiabilidad de estos dispositivos atendiendo a la velocidad, las investigaciones han indicado como ésta disminuye con el aumento de la velocidad (CV = 1.4-2.6% andando y 19.7-30.0% a sprint en dispositivos de 5 Hz) (Jenning *et al.*, 2010). Por otro lado, Muñoz-López, Granero, Pino y De Hoyo (2017) indicaron que la frecuencia de 5 Hz es suficiente para lograr una válida y fiable medida para distancias superiores a 30 m sprint. En cuanto a las aceleraciones, Akenhead, French, Thompson y Hayes (2014) indicaron que, en GPS de 10 Hz, la precisión en aquellas que sucedían por encima de $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ debían tomarse con precaución.

Sin embargo, a pesar del gran volumen de artículos que estudian la validez y fiabilidad de los GPS, a día de hoy, existe una ausencia de un único protocolo que pueda ser considerado como “gold-standard” para conocer dicha validez y fiabilidad. Generalmente, para las distancias se emplean un recorrido medido con una cinta métrica rodante, mientras que para la velocidad se emplean células fotoeléctricas, pistola radar o sistemas de análisis de movimiento óptico digital (Akenhead *et al.*, 2014; Aughey, 2011; Duffield, Reid, Baker y Spratford, 2010; Gaudino *et al.*, 2014a, p. 10; Muñoz-López *et al.*, 2017; Varley *et al.*, 2012; Vickery *et al.*, 2013). Esta disparidad de métodos ocasiona que en algunos casos las diferencias de los datos de validación sean ambiguas entre

diferentes estudios, lo cual puede ser explicado también por el uso de diferentes marcas y modelos de GPS (Aughey, 2011). En este sentido, es conveniente conocer la variabilidad existente inter o intra dispositivo, ya que estudios de Buchheit *et al.*, (2014ab) han mostrado alguna variabilidad entre los dispositivos, incluso, de una misma marca.

Por otro lado, además de la fiabilidad y la validez de la medida, hay algunas otras limitaciones en el uso de los GPS que deberían ser consideradas. Otro inconveniente es que tienen que ser llevados por el propio deportista (Edgecomb y Norton, 2006), no se pueden emplear en deportes o situaciones a cubierto y está limitado su uso en zonas rodeadas de edificios altos, montañas o acantilados (Dobson y Keogh, 2007). Esta incompatibilidad que muestran con espacios deportivos cubiertos o rodeados de montañas o edificios se debe a que la señal puede viajar a través de las nubes, cristal o plástico, pero no a través de estructuras sólidas. Por tanto, en situaciones de este tipo se puede producir una disminución o pérdida en la calidad de la señal, reduciendo su fiabilidad. Otro de los principales problemas de los GPS radica en el error que puede suceder en determinados momentos debido al número de satélites disponibles a los que conectarse, siendo necesarios un mínimo de 3 al mismo tiempo (Carling *et al.*, 2008; Larsson, 2003; Schutz y Chambaz, 1997). Como alternativa a este problema, se han desarrollado los sistemas de posicionamiento local, los cuales tienen la ventaja de no depender de la señal de los satélites (Hoppe, Baumgart, Polglaze y Freiwald, 2018).

En resumen, el uso de la tecnología GPS es una de las principales herramientas de monitorización en entrenamientos y, más recientemente, en partidos (Akenhead y Nassis, 2016). De los datos que ofrece, la distancia total recorrida, así como la distancia recorrida en diferentes umbrales de intensidad son las variables más empleadas por los preparadores físicos y científicos deportivos para la valoración de la actividad de los futbolistas de alto nivel, centrándose especialmente en aquellas distancias que acontecen a alta velocidad de carrera (Akenhead y Nassis, 2016; Bradley *et al.*, 2011; Di Salvo *et al.*, 2009; Iaia, Rampinini y Bangsbo, 2009). Estas variables han sido analizadas tanto en partidos como en entrenamientos, en fútbol profesional o amateur y con jóvenes futbolistas o fútbol femenino, para conocer cuáles son las exigencias a las que está expuesto un jugador según su nivel competitivo, edad o demarcación, y cuanto de exigentes son ciertos entrenamientos en función del espacio de juego, número de jugadores o cualquier otra regla condicionante (Bangsbo, 1994; Barros *et al.*, 2007;

Beenham *et al.*, 2017; Bradley *et al.*, 2014; Buchheit *et al.*, 2010ab; Carling, 2010; Carling, 2011; Carling y Bloomfield, 2010; Carling *et al.*, 2010ab; Casamichana, Bradley y Castellano, 2018; Casamichana y Castellano, 2010; Casamichana, Castellano, Blanco-Villaseñor, San Román y Castagna, 2013; Casamichana, Castellano y Castagna, 2012a; Casamichana, Román-Quintana, Castellano y Calleja-González, 2015; Castellano y Casamichana, 2013; Castellano, Casamichana y Dellal, 2013; De Hoyo *et al.*, 2017; Jastrzebski y Radziminski, 2015; Méndez-Villanueva *et al.*, 2013; Núñez-Sánchez, Toscano-Bendala, Campos-Vázquez y Suarez-Arrones, 2017; Russell, Sparkes, Northeast y Kilduff, 2015; Sarmiento *et al.*, 2014; Tierney, Young, Clarke y Duncan, 2016; Torreño *et al.*, 2016). Además, el avance de estos sistemas ha permitido su sincronización con videos en tiempo real, lo cual refuerza, todavía más, la utilidad de esta herramienta (Castellano y Casamichana, 2014), facilitando a los técnicos el conocimiento sobre el grado de esfuerzo al que son sometidos los futbolistas.

2.2. Cuantificación de las demandas de carrera en fútbol.

Los sistemas de análisis ofrecen una cantidad de datos inmensa, las cuales deben de ser filtradas a posteriori para su estudio. Su principal objetivo es la obtención de indicadores de la intensidad y del volumen que permitan conocer la carga de trabajo desarrollada por el equipo y jugadores, lo cual facilita a los entrenadores el diseño de estrategias de entrenamiento adaptadas a las demandas del juego (Carling, 2011; Carling *et al.*, 2005, p. 88; Drust *et al.*, 2007). La elección de la información a analizar es un proceso de gran importancia para lograr la máxima objetividad posible en la valoración de las prestaciones físicas de los jugadores o, dicho de otra forma, cuantificar la magnitud del esfuerzo realizado. En base a este tipo de análisis, podemos saber que el fútbol se caracteriza por tener periodos con fluctuaciones en duración e intensidad, los cuales cuentan con recuperaciones puntuales cuando la actividad es suave o el futbolista está parado, sin ser éstos de naturaleza continua (Drust *et al.*, 2007). Además, como ya se analizó anteriormente, las exigencias a nivel condicional pueden variar por un sinnúmero de elementos como la climatología, rival, resultado, formación del equipo, estado emocional,

nivel de entrenamiento, etc. Algunos estudios han mostrado en este sentido una gran variación entre los mismos jugadores, observándose diferencias que oscilan entre el 5 y el 25% de la distancia total recorrida en un encuentro (Mohr *et al.*, 2003).

La distancia total recorrida ha sido una de las primeras variables monitorizadas y la más incluida a lo largo de la literatura (Cummins *et al.*, 2013). Ésta ha demostrado ser sensible al nivel competitivo y la edad de los jugadores (Mohr *et al.*, 2003). En esta línea, Mohr *et al.* (2003) observaron como los jugadores de primer nivel corrieron un 5% más ($p < 0.05$) que los jugadores que participaban en campeonatos de menor categoría (10860 ± 180 y 10330 ± 260 m, respectivamente). Por otro lado, en un estudio realizado por Buchheit *et al.* (2010b), observaron como los jugadores sub 18 recorrieron unos 8867 m frente a los 6549 m que abarcaron jugadores sub 13 (27.2% de diferencia). Sin embargo, la distancia total recorrida no resulta ser un fiel reflejo del rendimiento del futbolista, puesto que se obvian muchos otros factores que deben ser considerados (como la intensidad, frecuencia, aceleraciones, etc.) para valorar las prestaciones de los futbolistas (Carling *et al.*, 2008). Por tanto, las conclusiones sobre el rendimiento propio no deberían basarse en un único valor numérico (distancia recorrida en este caso), sino que deben de ser estudiadas de forma conjunta otras variables y parámetros de rendimiento físico además de otros factores técnico-tácticos y contextuales como el resultado, la climatología, etc.

Como criterio común, y para el estudio de las diferentes demandas de movimiento, se han empleado diferentes categorías que permiten el estudio de las exigencias de carrera (Dwyer y Gabbett, 2012) según los rangos de velocidad y la distancia cubierta en los mismos (Burgess *et al.*, 2006; Di Salvo *et al.*, 2007; Di Salvo *et al.*, 2009), medias de la velocidad (Impellizzeri *et al.*, 2006; Krustup, Mohr y Bangsbo, 2002) o descripciones subjetivas de las actividades (andar, trote, baja intensidad, media intensidad, alta intensidad o sprint, variando ésta según los autores) (Drust *et al.*, 2007; Gabbett y Mulvey, 2008).

Dentro del amplio abanico de movimientos e intensidades que podemos analizar gracias a la monitorización de la carga externa, aquellas que se desarrollan a alta intensidad (velocidad, aceleración o salto) requieren una especial atención, ya que muchos autores las han catalogado como las más determinantes para el rendimiento

debido a que están presentes en las acciones más cruciales del juego (Carling *et al.*, 2008; Faude *et al.*, 2012; Kirkendall, 2007; Little y Williams, 2005; Northeast *et al.*, 2017; Reilly, 2005). Aunque las que se realizan a alta velocidad de carrera constituyen solo el 11% de la distancia total recorrida (Carling *et al.*, 2008; Ingebrigtsen *et al.*, 2015; Mohr *et al.*, 2003; Rienzi *et al.*, 2000; Stolen *et al.*, 2005), éstas forman parte de los momentos más determinantes del partido, ya que afectan directamente al resultado, como marcar, asistir o evitar un gol (Carling *et al.*, 2008; Northeast *et al.*, 2017; Varley y Aughey, 2013). Además, aportan una información importante acerca de los grados de fatiga de los jugadores (Bradley *et al.*, 2010; Carling *et al.*, 2008) y son acciones con un porcentaje de riesgo de sufrir lesión más elevado que otras de menor intensidad (Carling *et al.*, 2010b; Rahnama *et al.*, 2002).

Otra forma de expresar la distancia es en términos relativos al tiempo jugado ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$), el cual proporciona una información más precisa de la magnitud del esfuerzo del partido o entrenamiento que la distancia total únicamente. En este sentido, la distancia recorrida solo nos pone de manifiesto el volumen de trabajo, mientras que si la relativizamos al tiempo efectivo, la podemos emplear como un indicador de intensidad (Boullosa *et al.*, 2013; Cummins *et al.*, 2013). Esta expresión de los metros recorridos en función a los minutos de actividad ha mostrado ser diferente según la edad de los jugadores, teniendo un promedio de $115.2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ jugadores sub 16, representando éste un 10% más que la distancia recorrida por jugadores sub 13 ($103.7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$). Del mismo modo, en futbolistas profesionales de 1ª división de España, el promedio total fue de $121.59 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, variando en función a las posiciones de juego (111.89 , 118.06 , 122.84 , 128.23 y $129.54 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ para los DC, los DEL, los DL, los CM y los CL, respectivamente) (Lago-Peñas *et al.*, 2009). Además, esta variable presenta la ventaja de permitirnos comparar entre actividades de diferente duración, lo cual resulta de gran utilidad cuando analizamos el desempeño de determinados ejercicios de entrenamiento que tienen una duración reducida, ya que permite compararlos con las exigencias reales de competición o con otros ejercicios.

Además de la distancia cubierta, contamos con otras variables que nos permiten estudiar las acciones que demandan una gran cantidad de energía como las aceleraciones, las frenadas, los saltos, etc. Para ello, los sistemas de análisis nos ofrecen los valores del cambio de velocidad producido por segundo ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) (Little y William, 2005; Osgnach *et*

al., 2010). Al igual que sucede con la distancia recorrida, la magnitud de las aceleraciones (y desaceleraciones) se han estudiado en función de determinadas categorías de intensidad atendiendo a umbrales absolutos principalmente (desarrolladas más detalladamente en los próximos apartados). La contabilización de estas actividades se realiza normalmente mediante el número de aceleraciones, la distancia recorrida y el tiempo para cada zona de intensidad (Aughey, 2010). Por otro lado, se han incorporado en los últimos años acelerómetros triaxiales en los dispositivos GPS, los cuales nos ofrecen una información detallada de las fuerzas (g) soportadas por el deportista durante una actividad cualquiera en sus tres planos de movimiento (antero-posterior, medio-lateral y longitudinal).

Un factor importante a tener en cuenta en la cuantificación de los esfuerzos viene marcado por el análisis de la frecuencia con la que se dan determinados tipos de acciones, especialmente aquellas que acontecen a alta intensidad (Buchheit *et al.*, 2010a; Buchheit, Simpson, Peltola y Méndez-Villanueva, 2012). Conocer su frecuencia, así como su duración e intensidad permitirán diferenciar entre las prestaciones de cada jugador. En este sentido, en los últimos años ha habido un creciente interés por la recuperación y reproducción de las acciones a alta velocidad y sprint (Buchheit *et al.*, 2012; Mujika, Spencer, Santisteban, Goiriena y Bishop, 2009). Estas actividades son consideradas cuando el futbolista repite un mínimo de tres acciones de corta duración (de 3 a 7 s) por encima de una velocidad determinada (según el umbral empleado de alta intensidad de carrera) con menos 60 s de recuperación entre ellas (Buchheit y Laursen, 2013; Girard, Méndez-Villanueva y Bishop, 2011). No obstante, algunos autores han reducido el periodo entre sprints a 15 s (Iaia *et al.*, 2017), 20 s (Pareja-Blanco *et al.*, 2016; Rampinini *et al.*, 2007a), 21 s (Spencer *et al.*, 2004), 25 s (Krustrup *et al.*, 2006), o 30 s (Iaia *et al.*, 2017). Este tipo de acciones requieren, por tanto, un gran esfuerzo por parte del jugador, ya que tiene que repetir tal acción a máxima velocidad con cortos periodos de recuperación entre ambas. Así pues, junto con la habilidad de sprintar, la capacidad de repetir acciones de alta intensidad durante un partido es un factor que puede resultar determinante para la consecución de objetivos, siendo considerada como una habilidad fundamental en deportes de equipo (Iaia *et al.*, 2009; Impellizzeri *et al.*, 2008; Rampinini *et al.*, 2007a; Spencer, Bishop, Dawson y Goodman, 2005a). Varios artículos han demostrado, por ejemplo, la necesidad de repetir acciones a alta velocidad con breves periodos de recuperación durante un partido (Bradley *et al.*, 2009, 2010). Sin embargo,

otros autores han cuestionado que deba ser un componente crucial en el rendimiento de los jugadores desde la perspectiva condicional, ya que no ocurren muchas acciones de estas características durante un partido (incluso ninguna, en algunos casos) (Buchheit *et al.*, 2010a).

En este sentido, algunos autores han sugerido que la valoración de la capacidad de repetir aceleraciones de gran magnitud podría ser más útil que los sprints repetidos (Barron, Atkins, Edmundson y Fewtrell, 2016). Las aceleraciones repetidas han sido definidas como la realización de 3 aceleraciones ($>1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) en un máximo de 45 s (Barbero-Álvarez, Boullosa, Yuzo, Andrín y Weston, 2014). Barron *et al.* (2016) investigaron las acciones de estas características durante partidos de fútbol en jóvenes jugadores sub-17. El promedio total fue de 7.09 ± 4.70 acciones de aceleraciones repetidas por partido. Al mismo tiempo, se observó una tendencia superior de los jugadores de posiciones laterales respecto a los jugadores centrales ($r = 0.43$). Por su parte, Serpiello, Duthie, Moran, Kovacevic, Selimi y Varley (2018) emplearon umbrales relativos a la capacidad máxima de acelerar en un test de 40 m (70 y 80%) para valorar las aceleraciones repetidas de alta intensidad durante partidos oficiales en futbolistas sub-14. Sus resultados mostraron valores de 8.0 ± 4.6 y 5.1 ± 3.5 aceleraciones repetidas para los umbrales del 70 y el 80% de la aceleración máxima, respectivamente. Además, encontraron pequeñas diferencias entre la primera y la segunda mitad, hecho que no sucedió en el estudio de Barron *et al.* (2016). En el caso de futbolistas profesionales, a día de hoy, no existen estudios realizados desde esta perspectiva de análisis. Con vistas al futuro, podría ser una importante línea de estudio que ayude al entendimiento de la sucesión de los esfuerzos repetidos a alta intensidad en el fútbol.

Después de la obtención de los datos de la actividad realizada por los jugadores, llega el momento del análisis de los esfuerzos para determinar la carga de trabajo en una determinada actividad (partido o entrenamiento). Generalmente, este valor se ha obtenido a través del producto de la intensidad del ejercicio por el volumen del mismo (Flanagan y Merrick, 2002). Estos registros son examinados, a modo general, desde tres perspectivas: la velocidad de carrera, la distancia recorrida y el tiempo entre esfuerzos o durante una intensidad concreta (Castellano y Casamichana, 2016, p. 59).

Sin embargo, asumir que con estas tres variables podemos tener el conocimiento certero de la energía gastada por el jugador puede resultar osado. Esto es debido a la subestimación del gasto energético (CE) que suponen movimientos realizados a alta intensidad en espacios cortos (o sin desplazamiento), tales como saltos verticales, luchas o cargas con el oponente, giros y cambios de dirección, aceleraciones y desaceleraciones, etc., no son considerados cuando solo se estudian los valores de distancia recorrida en función a determinadas intensidades de velocidad (Carling *et al.*, 2008; Gaudino, Alberti y Iaia, 2014c; Gaudino *et al.*, 2013; Gaudino *et al.*, 2014b; Osgnach *et al.*, 2010). Este tipo de acciones son realizadas, en muchos casos, a máxima intensidad, siendo determinantes para el juego. No obstante, por su propia naturaleza o el contexto del juego, pueden no alcanzar altas velocidades de desplazamiento por no ser oportuno en tal acción o por tener un carácter vertical. Por tanto, valorando únicamente a través de la velocidad alcanzada, podríamos caer en el error de catalogarlas como actividades a baja intensidad, cuando en realidad se realizan a la máxima capacidad voluntaria (o casi máxima). En este sentido, tal y como hemos comentado en párrafos anteriores, diversas firmas de GPS están introduciendo datos de acelerometría en sus dispositivos para el registro de actividades de este perfil (en fuerzas G). No obstante, se requieren más investigaciones al respecto.

A raíz de la monitorización de la intensidad, duración y frecuencia, han surgido varias propuestas que tratan de dar un valor total a la carga asumida por los jugadores. Una medida estudiada en la literatura y que relaciona el trabajo con los periodos de descanso es la ratio trabajo/descanso (*work:rest ratio*), el cual ha sido empleado tanto en partidos como entrenamientos y se define por el cociente de la distancia cubierta por encima de $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ entre la distancia recorrida entre 0 y $3.9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Casamichana y Castellano, 2010; Casamichana, Castellano y Castagna, 2012a; Casamichana *et al.*, 2012a; Casamichana *et al.*, 2015; Drust *et al.*, 2007; Reilly, 1997).

Otra opción es el *Exertion Index*, un indicador global que se obtiene a partir de un algoritmo específico, según la marca del GPS, que considera la velocidad de los movimientos. Su cálculo ha sido usado por algunos autores para cuantificar el grado de fatiga de los jugadores (Casamichana y Castellano, 2010; Casamichana *et al.*, 2012a; Wisbey, Montgomery, Pyne y Rattray, 2010). Este parámetro se obtiene a través de la siguiente ecuación (Ec 1):

$$Exertion\ Index = (\Sigma EI1 + \Sigma EI10 + \Sigma EI60)/300$$

donde $EI1 = (V^4 \times 0.000009) - (V^3 \times 0.001) + (V^2 \times 0.0356) - (V \times 0.096) - 0.0172$; $EI10 = (V10^4 \times 0.00003) - (V10^3 \times 0.0004) + (V10^2 \times 0.0477) - (V10 \times 0.0476) + 0.1056$; $EI60 = (V60^4 \times 0.00003) - (V60^3 \times 0.0004) + (V60^2 \times 0.0477) - (V60 \times 0.0476) + 0.1056$; V = velocidad en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; $V10$ = velocidad media en 10 s; y $V60$ velocidad media en 60 s (Casamichana *et al.*, 2012a). Hasta la fecha, no hay muchos estudios que hayan incorporado esta variable en sus análisis y tampoco se encuentra entre las variables más empleadas por los profesionales en fútbol (Akenhead y Nassis, 2016).

Otros indicadores globales basados en el análisis de las aceleraciones serían el Player Load (PL) y la PM, los cuales se desarrollarán de forma más minuciosa en los próximos apartados.

Atendiendo a lo expuesto, debemos considerar que la estandarización de los métodos de medida es un elemento crucial para el desarrollo de futuros principios o leyes relacionadas con un fenómeno específico (en nuestro caso, el fútbol). Sin embargo, si revisamos las aportaciones científicas en nuestro campo, veremos como aún no existe una unificación de criterios, de forma que, los diferentes autores han empleado distintas técnicas metodológicas y criterios para determinar la carga de trabajo a la que son sometidos los jugadores, tanto en competición como en entrenamiento (Drust *et al.*, 2007).

Desde las primeras investigaciones realizadas en este ámbito, la cantidad de trabajo realizada fue expresada a través de la distancia cubierta por los jugadores, dando ésta una idea del gasto realizado. Esta distancia se estudiaba también atendiendo a periodos de tiempo, los cuales permitían valorar la velocidad promedio cada determinados minutos o momentos del partido, siendo normalmente intervalos de 5 o 15 min (Carling, 2011; Carling y Dupont, 2011; Carling *et al.*, 2010a; Mohr *et al.*, 2003; Rahnama *et al.*, 2002). Por ejemplo, Mohr *et al.* (2003) mostraron como, después de 5 min de alta intensidad ($>18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) durante un partido, le seguían otros 5 min a una intensidad menor (un 12% aproximado) (figura 11). Del mismo modo, estos mismos autores indicaron que hubo un descenso en las actividades a alta velocidad de carrera en los últimos 15 min del encuentro. Otro trabajo similar encontró una disminución

aproximada del 50% en la cantidad de acciones a alta intensidad ($>19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) en jugadores de la Premier League después de los 5 min más intensos del partido (Bradley *et al.*, 2009).

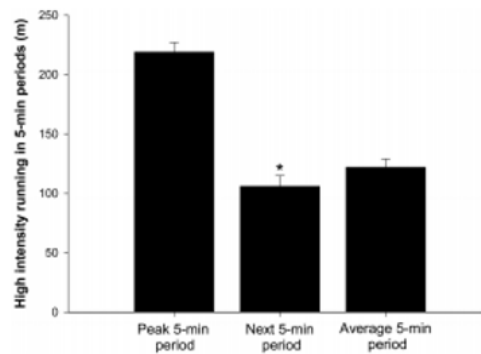


Figura 11. Periodo de 5 min con mayor pico de actividad a alta intensidad de carrera de partido comparado con los siguientes 5 min de partido (Mohr *et al.*, 2003).

No obstante, habría que considerar que esta disminución del rendimiento a nivel condicional puede no solo deberse a un estado de fatiga. Carling y Dupont (2011) vieron que, después de estos minutos de alta intensidad, había también una reducción en las oportunidades de juego con el balón en comparación a otros momentos del partido. Este factor nos hace pensar en la complejidad que puede presentar este deporte debido a la influencia de las interacciones con compañeros, rivales y estado de forma propio (físico y emocional), las cuales pueden derivar en un comportamiento u otro, haciéndonos dudar de cuál puede ser el motivo exacto de los resultados de nuestro estudio. De esta forma, estos autores se cuestionan lo siguiente: ¿Disminuyen las acciones a alta intensidad porque hay fatiga y eso origina menos acciones con balón? o ¿disminuyen porque (por algún otro motivo) no hay necesidad de actuar a tal intensidad por no estar interviniendo en el juego? En este sentido, había que destacar que estos investigadores indicaron que el rendimiento a nivel técnico no se vio afectado, por lo que el posible estado de fatiga parece no influir en el resultado de otras acciones técnicas. Sin embargo, otros investigadores sí han concluido que el cansancio producido tras una serie de acciones a alta intensidad afecta a la precisión en elementos técnicos, como fue el caso del pase en

jugadores semiprofesionales (McMorris y Rayment, 2007) y jóvenes futbolistas (Rampinini *et al.*, 2008).

2.2.1. Estudio de las demandas de movimiento en función a la velocidad y la distancia recorrida.

Los avances recientes en el estudio de las demandas del fútbol, tanto a nivel físico como técnico y táctico, han permitido el desarrollo de perfiles individuales a cada jugador y posición con el objetivo de aproximar cuáles son sus exigencias durante la competición (Carling, 2010; Carling *et al.*, 2008; Stolen *et al.*, 2005). A grandes rasgos, el fútbol, a nivel locomotor, ha sido estudiado atendiendo a la distancia cubierta a varias intensidades de velocidad de carrera, siendo la mayor parte de la actividad desempeñada a baja intensidad, como andar o trote (Russell *et al.*, 2014). En líneas generales, diversos trabajos nos han mostrado como un jugador de fútbol puede recorrer entre 9 y 12 km a lo largo de un partido, pudiendo llegar esta distancia a ampliarse hasta los 14 km en algunos casos (Barros *et al.*, 2007; Carling *et al.*, 2008; Carling *et al.*, 2005, p. 90; Fernandes, Caixinha y Malta, 2007; Lago-Peñas *et al.*, 2009; Mohr *et al.*, 2003; Mohr *et al.*, 2005; Russell *et al.*, 2014).

En el caso de jóvenes futbolistas, la edad de los mismos juega un papel determinante en la distancia total recorrida. Buchheit *et al.* (2010b) observaron como esta medida se modificaba considerablemente desde las categorías sub-13 a sub-18 (tabla 1).

	Sub-13	Sub-14	Sub-15	Sub-16	Sub-17	Sub-18
Distancia total (m)	6549 ± 597	7383 ± 640	8129 ± 879	8312 ± 1054	8707 ± 1101	8867 ± 859
Distancia alta velocidad (13.1-16 km·h⁻¹) (m)	671 ± 180	821 ± 231	954 ± 297	968 ± 258	991 ± 370	976 ± 240
Distancia muy alta velocidad (>16.1 km·h⁻¹) (m)	509 ± 156	763 ± 307	887 ± 311	864 ± 314	967 ± 221	1239 ± 337

Tabla 1. Demandas de carrera en jóvenes futbolistas [media ± desviación estándar (DE)]. Adaptado de Buchheit *et al.*, 2010b.

A día de hoy no existe un consenso en la comunidad científica sobre la forma de categorizar las intensidades de los esfuerzos a través de la velocidad del jugador, habiendo una gran variedad de estudios con diferentes criterios de catalogación (Andersson *et al.*, 2008; Bangsbo *et al.*, 1991; Carling, 2011; Carling y Bloomfield, 2010; Carling y Dupont, 2011; Carling, Dupont y Le Gall, 2011; Carling *et al.*, 2010ab; Di Salvo *et al.*, 2007; D'Ottavio y Castagna, 2001; Hill-Haas, Coutts, Dawson y Rowsell, 2010; Lovell y Abt, 2013; Mallo, Navarro, García-Aranda, Gilis y Helsen, 2007; Mohr *et al.*, 2003; Mohr *et al.*, 2010; Rampinini *et al.*, 2007ab; Scott, Lockie, Knight, Clark y De Jone, 2013). Este factor dificulta en gran medida la comparación de los resultados de los diversos estudios entre los equipos, jugadores, posiciones, edad, nivel, etc. (Cummins *et al.*, 2013; Drust *et al.*, 2007). En la literatura, los umbrales establecidos en muchas investigaciones difieren unas de otras, aunque, evidentemente, en la mayoría de los casos se asemejan entre sí. Las principales discrepancias surgen para catalogar las acciones de mayor intensidad. Esto resulta de gran interés, ya que algunos estudios han mostrado evidencias de que los jugadores del más alto nivel internacional [según el ranking de la Fédération Internationale de Football Association (FIFA)], realizan más acciones a alta intensidad de carrera (28%) y a velocidad de sprint (58%) que los jugadores internacionales de nivel medio (Mohr *et al.*, 2003). Este hecho resulta llamativo ya que, como hemos visto anteriormente, las acciones de estas características han sido consideradas como las más determinantes en el juego.

Considerando la distancia total recorrida, los futbolistas de nivel superior realizaron únicamente un 5% más que los de nivel intermedio. En vista a estos resultados, varios autores han concluido que la distancia total no es una variable apropiada para discriminar entre el nivel de los jugadores de fútbol (Abt y Lovell, 2009; Mohr *et al.*, 2003; Russell *et al.*, 2014). Apoyando estos argumentos, Bradley *et al.* (2010) consideraron que la distancia cubierta a alta intensidad era más válida para el análisis de estas acciones por posiciones de juego que las demandas a baja intensidad, ya que mantienen una estrecha relación con el estado de entrenamiento.

Sin embargo, a pesar de la importancia que se le presupone, el criterio de velocidad usado para definir a cuantos $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ empieza la zona de alta intensidad ha sido basado en un umbral absoluto e independientemente de la velocidad del jugador, sin proporcionar, en muchos casos, la justificación fisiológica del uso de esa velocidad concreta (Abt y Lovell, 2009). Si revisamos la literatura, vemos como existe un amplio rango de velocidades para considerar el inicio de las carreras a alta intensidad según diferentes autores: 13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Hill-Haas *et al.*, 2010; Mallo *et al.*, 2007), 14.4 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Carling, 2011; Carling y Dupont, 2011; Lovell y Abt, 2013; Rampinini *et al.*, 2007ab; Scott *et al.*, 2013), 15 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Andersson *et al.*, 2008; Bangsbo *et al.*, 1991), 16.0 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Mohr *et al.*, 2003; Mohr *et al.*, 2010), 18.0 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (D'Ottavio y Castagna, 2001); 19.1 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Carling y Bloomfield, 2010; Carling *et al.*, 2010ab; Di Salvo *et al.*, 2007) y 19.8 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Carling *et al.*, 2011; Weston *et al.*, 2007).

Esta disparidad dificulta la comparación entre diferentes estudios, además de poner de manifiesto la falta de consenso en este aspecto. Del mismo modo sucede a la hora de catalogar el límite a partir del cual se debe de considerar una velocidad como sprint. Algunos autores lo han ubicado en: 21 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Casamichana *et al.*, 2012a; Suarez-Arrones *et al.*, 2015), 22 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Mohr *et al.*, 2010), 23 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Di Salvo *et al.*, 2007), 24 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Roberts, Trewartha y Stokes, 2006), 25.2 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Di Salvo, Baron, Tschan, Calderón, Bachl y Pigozzi, 2010) o incluso por encima de los 30 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Mohr *et al.*, 2003); mientras que otros lo han hecho, incluso, por encima de 19.8 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Scott *et al.*, 2013), habiendo sido esta velocidad categorizada por otros autores como alta intensidad y no como sprint (Carling *et al.*, 2011; Weston *et al.*, 2007). Como alternativa a estos umbrales absolutos, otros autores han propuesto la creación de umbrales individualizados en función de la velocidad máxima del jugador, o la velocidad aeróbica máxima (Abt y Lovell, 2009; Buchheit *et al.*, 2010a; Buchheit, Simpson y Méndez-Villanueva, 2013a; Dwyer y Gabbett, 2012; Harley *et al.*, 2010; Méndez-Villanueva *et al.*, 2013; Núñez-Sánchez *et al.*, 2017; Sparks *et al.*, 2017), los cuales se detallarán más adelante.

Esta discrepancia se hace más plausible aún si observamos las diferencias en las demandas de carrera a alta intensidad en jóvenes futbolistas. La tabla 1 muestra cómo, a alta velocidad de carrera, existen diferencias notables en función de la edad de los jugadores, reduciéndose esta diferencia en las categorías más próximas a la edad adulta (sub-17 y sub-18).

Independientemente del umbral utilizado, actualmente, es conocido que estas actividades tienden a durar un máximo de 4 s aproximadamente, sin extenderse en esfuerzos de más de 20 m de recorrido (Di Salvo *et al.*, 2007; Stolen *et al.*, 2005). Entendiendo estos datos, parece lógico pensar que la capacidad de un jugador de utilizar su máxima capacidad de fuerza/velocidad en el menor tiempo posible puede resultar crucial para la consecución de los objetivos, ya sea en una aceleración, desaceleración, salto, golpeo, etc. Esta capacidad puede permitir a un jugador llegar antes a un balón, escapar de su marca, ganar un duelo aéreo, etc., circunstancias las cuales pueden llegar a ser trascendentales en el devenir de un partido. Aunque nos estemos centrando en el componente físico, mencionamos de paso que para este tipo de acciones es esencial el dominio de otros conceptos técnicos y tácticos que permitan una mejor colocación y anticipación de estas acciones. De aquí la importancia de un estudio pormenorizado de cómo ocurren estas acciones durante un partido en frecuencia, duración y situación en el campo.

Por otro lado, diversos estudios han demostrado que las exigencias en las demandas de desplazamiento son diferentes en función de las posiciones de juego (Carling *et al.*, 2016; Carling *et al.*, 2005, p. 92; Di Salvo *et al.*, 2007). Centrándonos en los valores de partido, podemos observar que cada demarcación tiene un perfil concreto según las variables de análisis que empleemos (tabla 2). Si tenemos en cuenta la distancia recorrida por encuentro, los CM son los que recorren más metros del equipo, siendo los DC quienes tienen los valores más bajos (excluyendo a los porteros) (Carling *et al.*, 2005, p. 93; Di Salvo *et al.*, 2007; Drust *et al.*, 2007; Lago-Peñas *et al.*, 2009; Reilly *et al.*, 2008). Esto nos confirma, por tanto, la necesidad de una valoración individual de cada jugador atendiendo a aquellas demandas que se dan en competición.

En cuanto a la intensidad de los desplazamientos en función a la demarcación, algunos autores señalaron que la cantidad de las acciones de alta intensidad o sprint (las más relevantes según muchos autores) dependen igualmente de la posición del jugador (Bangsbo *et al.*, 1991; Barros *et al.*, 2007; Bloomfield *et al.*, 2007a; Bradley *et al.*, 2009; Di Salvo *et al.*, 2007; Di Salvo *et al.*, 2009; Di Salvo *et al.*, 2010; Lago-Peñas *et al.*, 2009; Mohr *et al.*, 2003; Rampinini *et al.*, 2007b; Rampinini *et al.*, 2009; Rienzi *et al.*, 2000; Stolen *et al.*, 2005). Por su parte, Di Salvo *et al.* (2009) encontraron como, a alta intensidad ($>19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), los CL fueron los que mayor distancia recorrieron del equipo

(1049 ± 106 m) por encima de los DEL (968 ± 143 m), DL (911 ± 123 m), CM (928 ± 124 m) y DC (681 ± 128 m), manteniéndose la misma relación entre posiciones en la máxima velocidad de carrera ($>25.2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) (260 ± 47 , 262 ± 63 , 238 ± 55 , 217 ± 46 y 167 ± 53 m para los CM interiores, DEL, DL, CM y DC, respectivamente). Años más tarde, Di Salvo *et al.* (2010) estudiaron las diferencias entre las posiciones de juego a intensidad de sprint ($>25.2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) en partidos de las competiciones más importantes a nivel europeo [UEFA (Union of European Football Associations) Champions League y UEFA Europa League], obteniendo los mismos resultados que en su anterior trabajo con equipos de la Premier League. Sus resultados se muestran en la tabla 3.

	Total	DC	DL	CM	CL	DEL	Observaciones
Lago-Peñas <i>et al.</i> , 2009	10943 ± 935	10070 ± 534	11056 ± 619	11541 ± 594	11659 ± 935	10626 ± 1242	
Lago-Peñas <i>et al.</i> , 2010		10491 ± 496	11050 ± 482	11320 ± 610	11425 ± 354	10686 ± 714	
Di Salvo <i>et al.</i> , 2007	11393 ± 1016	10627 ± 893	11410 ± 708	12027 ± 625	11990 ± 776	11254 ± 894	
Ingebrigtsen <i>et al.</i> 2015	11230 ± 992	10219 ± 381	11451 ± 673	11546 ± 1024	12320 ± 979	10584 ± 461	
Rampinini <i>et al.</i> , 2007b	11019 ± 331	9995 ± 652	11233 ± 664	11748 ± 612		10233 ± 677	
Carling y Dupont, 2011	10594 ± 681	10004 ± 469	10655 ± 497	11177 ± 549	10543 ± 656		Sistemas 1-4-4-2
	10795 ± 624	10161 ± 404	10824 ± 473	11278 ± 446	10916 ± 546		1-4-3-3/1-4-5-1
	10808 ± 661	10192 ± 466	10844 ± 513	11250 ± 510	10948 ± 650		1-4-2-3-1

Tabla 2. Distancia recorrida (m) por cada posición a lo largo de un partido (media ± DE).

	DC	DL	CM	CL	DEL
Número total de sprints	17.3 ± 8.7	29.5 ± 11.7	23.5 ± 12.2	35.8 ± 13.4	30.0 ± 12.0
Distancia total a sprint (m)	131 ± 66	233 ± 98	163 ± 85	285 ± 111	242 ± 106

Tabla 3. Número y distancia total a intensidad de sprint (media ± DE) realizados a lo largo de un partido diferenciando por posiciones de juego. Adaptado de Di Salvo *et al.*, 2010.

Si nos centramos en el análisis del perfil de actividad en jugadores de categorías inferiores, en la tabla 1 es posible observar como la magnitud de las carreras desarrolladas a alta velocidad de movimiento varía substancialmente en función a la edad. Del mismo modo, Buchheit *et al.*, (2010b) encontraron diferencias substanciales en función a las posiciones de juego y las intensidades de carrera. Al igual que en futbolistas adultos, los CM fueron quienes recorrieron una distancia total superior (8665 ± 98 m), seguidos de los CL (8469 ± 155 m), mientras que los valores más bajos fueron para los DC (7675 ± 84 m). A muy alta intensidad ($>16.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), los CL fueron los que más metros abarcaron, seguidos de los DEL (1202 ± 53 m). Los DC obtuvieron los registros más bajos, realizando unos 747 ± 33 m a esta intensidad. Tales valores se asemejan a la relación entre demarcaciones encontradas en jugadores adultos. No obstante, habría que destacar las diferentes distancias absolutas recorridas entre estas edades.

Estas diferencias entre las posiciones de juego se deben a diferentes motivos, entre los cuales se encuentran las exigencias tácticas a la que cada una está sometida, capacidades técnicas, edad y experiencia. Incluso dentro de una misma demarcación podemos encontrar diferencias entre jugadores en función de su rol táctico y características propias (Bradley *et al.*, 2009; Carling *et al.*, 2008; Dwyer y Gabbett, 2012). Sirva de ejemplo el caso de los CM, donde son conocidos ciertos perfiles más defensivos para determinados futbolistas o más ofensivos para otros, llegando en algunos casos a recorrer más distancia a alta intensidad [2712 m versus (*vs*) 3814 m; umbral de velocidad $>2^\circ$ umbral ventilatorio] (Lovell y Abt, 2013); o el de los DL con gran incorporación ofensiva o con un rol más posicional, los cuales fueron estudiados por Carling *et al.* (2016), encontrando una alta variabilidad de resultados entre los tres DL que evaluaron

(2016), encontrando una alta variabilidad de resultados entre los tres DL que evaluaron en cuanto a la cantidad de metros recorridos a alta intensidad ($\geq 19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) durante varios encuentros consecutivos (CV = 11.0%, 17.4% y 21.4%). En concordancia con estos datos, Mohr *et al.* (2003) observaron diferencias de hasta 1.9 km en la distancia cubierta a alta intensidad entre dos CM en un mismo partido. Por tanto, podemos entender que, además de existir asimetrías entre las diferentes demarcaciones, existe la posibilidad de encontrar también diferencias incluso entre dos jugadores de una misma posición, debido a las características del estilo de juego del equipo. En base a estos datos, parece obvio pensar que, en el día a día, estos jugadores deberán realizar actividades que se asemejen en la mayor medida de lo posible a las exigencias que se van encontrar más tarde en la competición, diferenciando por tanto entre las necesidades específicas de cada uno atendiendo a la propuesta de juego del entrenador. Como ejemplo, la mayor cantidad de metros recorrida a baja o media velocidad por parte de los CM nos sugiere un perfil aeróbico dominante para esta demarcación. Sin embargo, DC o DEL tendrán una mayor actividad anaeróbica. Por tanto, hay evidencias de la necesidad de individualización condicional en función a las posiciones de juego (Carling *et al.*, 2005, p. 94).

En esta línea, un estudio de Lago-Peñas *et al.* (2009) con jugadores de 1ª división de La Liga española mostraron como el mayor porcentaje de las acciones de juego se dan andando o a trote ($0-11 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), mientras que a baja velocidad únicamente se producen entre el 13.3 y 15.7% ($11.1-14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), siendo un 12.3-17.1% de las acciones a moderada velocidad ($14.1-19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), mientras que a alta velocidad solo se producen entre el 2.9 y 5.8% ($19.1-23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y solo entre el 1.8 y 4.2% de los esfuerzos son a velocidad de sprint ($>23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Estos datos son muy similares a los aportados por Di Salvo *et al.*, en 2007, también con jugadores de 1ª división de España (y participantes en la Champions League). Esta distribución porcentual también fue observada por Buchheit *et al.* (2010b) en jóvenes futbolistas, independientemente de la edad (tabla 1).

Si comparamos el desarrollo de las prestaciones de desplazamiento a lo largo del partido, diversos trabajos observaron una reducción en el rendimiento físico en la segunda parte medido a través de la distancia total recorrida (Bangsbo *et al.*, 1991; Bangsbo *et al.*, 2006; Carling, 2011; Carling y Dupont, 2011; Ekblom, 1986; Rampinini *et al.*, 2009; Reilly, 1997; Reilly, 2003; Reilly *et al.*, 2008; Rienzi *et al.*, 2000) y en la cantidad de carreras a alta intensidad en los últimos 15 min de partido (Bangsbo, 1994; Bangsbo, Iaia

y Krustup, 2007; Carling y Dupont, 2011; Krustup, *et al.*, 2006; Mohr *et al.*, 2003; Rampinini *et al.*, 2009). En contra de estos hallazgos, otros estudios realizados por Di Salvo *et al.* (2007), Ingebrigtsen *et al.* (2015) y Lago-Peñas (2009) no encontraron una disminución significativa ni en la distancia total ni a alta velocidad de carrera en la segunda mitad (tabla 4).

Autores	Distancia Total	Distancia 1ª parte	Distancia 2ª parte	Diferencia %
Barros <i>et al.</i> , 2007	10012	5173	4808	-7.1%
Di Salvo <i>et al.</i> , 2007	11393	5709	5684	-0.4
Mohr <i>et al.</i> , 2003	10860	5510	5350	-2.9
Zubillaga, Gorospe, Mendo y Villaseñor, 2007	10339	5121	5218	+1.9
Rienzi <i>et al.</i> , 2000	9020	4605	4415	-4.1
Burgess <i>et al.</i> , 2006	10100	5300	4800	-9.4
Carling y Dupont, 2011	11126	5694	5432	-4.7
Ingebrigtsen <i>et al.</i> , 2015	11230	5635	5595	-0.70

Tabla 4. Distancia total recorrida (m) y distancia total recorrida en la primera y segunda parte del partido según diferentes publicaciones.

El análisis de las demandas a alta intensidad mostró una reducción en la segunda parte en algunos estudios (Barros *et al.*, 2007; Castagna, D'Ottavio y Abt, 2003; Krustup *et al.*, 2006; Mohr *et al.*, 2003; Mohr, Krustup, Nybo, Nielsen y Bangsbo, 2004; Rampinini *et al.*, 2009). Sin embargo, otras recientes aportaciones han demostrado que no hay diferencias significativas entre ambas mitades en la distancia cubierta a intensidades submáximas y máximas ($>19.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) (Di Salvo *et al.*, 2007; Lago-Peñas *et al.*, 2009). En este sentido, y buscando una respuesta a los diferentes resultados encontrados en la literatura científica, Rampinini *et al.* (2009) concluyeron que hay una asociación entre la distancia recorrida y su intensidad en la primera parte con la posible disminución en la segunda, pero en ninguno de los casos se trata de fenómenos que ocurran de forma sistemática. Con lo cual podemos pensar que esta disminución en las prestaciones por parte de los jugadores puede estar condicionada por la intensidad de la primera parte o por otros factores externos al propio rendimiento físico, como podrían ser los factores tácticos o emocionales, en función del contexto y desarrollo de cada partido, como hemos citado con anterioridad. Del mismo modo, tampoco parece que la cantidad

de carreras de este perfil estén influenciadas por el sistema táctico empleado por el equipo rival (Carling, 2011).

Por otro lado, el análisis de partido también ha reflejado fluctuaciones (descensos) en el rendimiento físico en momentos concretos del mismo: después de periodos de acciones cortas a alta intensidad, al inicio de la segunda parte y hacia el final del partido (Bradley y Noakes, 2013; Carling *et al.*, 2005, p. 98; Mohr *et al.*, 2005). En este sentido, cuando se ha analizado el rendimiento físico en franjas de tiempo de 5 min, algunos autores han observado como después de un periodo con gran cantidad de acciones a alta intensidad de carrera ($\geq 14.4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) le seguía otro con una reducción de hasta un 12% en este tipo de acciones (figura 11) (Bradley y Noakes, 2013; Mohr *et al.*, 2003). En este caso, parece aceptada la teoría de que después de periodos de alta intensidad sobrevienen de otros con un rendimiento menor. Por otro lado, algunos estudios encontraron un descenso en las prestaciones de carrera al inicio de la segunda parte. Según los autores, esto podría ser debido al enfriamiento producido durante la pausa (Carling *et al.*, 2005, p. 98; Drust, Rasmussen, Mohr, Nielsen y Nybo, 2005; Mohr *et al.*, 2004). En cuanto los últimos 15 min de partido, ya hemos visto previamente como algunos autores han observado un descenso en las demandas de carrera a alta intensidad (Bangsbo, 1994; Bangsbo *et al.*, 2007; Carling y Dupont, 2011; Krstrup, *et al.*, 2006; Mohr *et al.*, 2003; Rampinini *et al.*, 2009). Sin embargo, habría que considerar si estos descensos en los últimos instantes del encuentro suceden como consecuencia de la actividad desempeñada en la primera parte del partido (Rampinini *et al.*, 2009) o si es consecuencia de otros factores contextuales (Buchheit *et al.*, 2018; Sarmiento *et al.*, 2014). En cualquiera de los casos, muchos de estos trabajos han tenido en cuenta la distancia recorrida como indicador de rendimiento, pudiendo ser interesante considerar otras variables como el resultado, expulsiones, sustituciones, climatología, etc. Esto permitiría conocer con más exactitud el desarrollo de las prestaciones físicas a lo largo de un partido y ver cómo pueden afectar al rendimiento dichas variables.

El número de competiciones en las que participa el equipo puede ocasionar un aumento en la densidad de partidos, lo cual podría afectar al rendimiento físico por acúmulo de fatiga. En clubes con 3 partidos en 5 días en la Premier League, no se observó una variación significativa en la distancia total recorrida por los jugadores, sugiriendo que no es una variable que muestre un descenso en el rendimiento. Sin embargo, los autores

si observaron una disminución en la frecuencia de las acciones a alta intensidad ($>19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) (Odetoyinbo *et al.*, 2007). Dicho esto, parece que la reducción en la frecuencia con la que acontecen los esfuerzos de esta índole podría ser un indicativo de problemas en la recuperación entre esfuerzos de gran magnitud.

Tras el profundo análisis descriptivo realizado en la literatura sobre esta temática, podemos concluir también que existe una falta de uniformidad en la descripción y clasificación de las demandas del movimiento. La diferencia entre criterios es tal, que incluso la tercera zona de intensidad en fútbol tiene un amplio abanico en cuanto a la velocidad de carrera, teniendo un rango de 3 a $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Cummins *et al.*, 2013). Del mismo modo, hemos citado previamente la falta de consenso para la catalogación de las actividades a alta intensidad y sprint, siendo estas muy determinantes en el resultado. Este hecho dificulta la comparación y análisis del rendimiento desarrollado por los jugadores desde la perspectiva física, atendiendo a las características diferenciadoras existentes entre jugadores, equipos, niveles de competición, entrenamientos, etc. Con vista a investigaciones futuras, sería interesante la concretización sobre un criterio específico de valoración que permita comparar entre estos colectivos de una forma precisa y fiable, lo cual permitirá diseñar estrategias más precisas para lograr una mayor eficacia y eficiencia en todo tipo de acciones. Del mismo modo, como se ha podido observar a lo largo de este apartado, en la mayoría de los casos se han empleado categorías de velocidad en términos absolutos, las cuales no tienen en cuenta las capacidades individuales de los deportistas.

Otra problemática que encontramos es que los jugadores no siempre logran su máxima velocidad de carrera debido a las particularidades de cada situación, en la que la velocidad de inicio y la distancia disponible para acelerar y lograr una alta velocidad de desplazamiento está condicionada por la situación del juego. Por tanto, en muchos momentos, la velocidad máxima alcanzada puede no ser el mejor indicador de la magnitud del esfuerzo, debido a que el espacio ha podido limitar el resultado de la misma, pudiendo caracterizar este esfuerzo de intensidad intermedia, mientras que, realmente, ha podido ser de máxima intensidad (por ejemplo, una aceleración máxima en un corto espacio de tiempo). Dicho esto, conocer la capacidad de acelerar de un jugador y las velocidades de inicio y final de la misma puede ser de gran importancia para no subestimar el esfuerzo realizado. Pongamos el caso de un jugador que alcanza los $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en una carrera. Si atendemos al valor absoluto, catalogaríamos el esfuerzo de

media intensidad. Sin embargo, puede que este jugador haya realizado una aceleración máxima pero la situación de juego no le ha permitido, o no era propicia, acelerar durante el tiempo o distancia suficiente para lograr tal velocidad. En este caso, si relativizamos la acción a la capacidad de aceleración y no nos guiamos solo por la velocidad alcanzada, estaríamos hablando de un esfuerzo máximo. En los próximos apartados analizaremos otras variables que pretenden dar solución a esta cuestión.

2.2.2. Acelerometría.

En los últimos años, las mejoras en la tecnología y el conocimiento para el análisis de las demandas físicas en los deportes han propiciado la incorporación de acelerómetros triaxiales a los dispositivos GPS. A través de ellos podemos conocer la magnitud y frecuencia de las aceleraciones producidas en los tres planos de movimiento (antero-posterior, medio-lateral y longitudinal), tanto en número total como en frecuencia por minuto de actividad (figura 12). Su objetivo no es otro que ayudar a entender la asociación entre las fuerzas que actúan sobre los tejidos musculoesqueléticos durante aceleraciones y desaceleraciones (Arruda *et al.*, 2015; Krasnoff *et al.*, 2008). Esta monitorización se basa en la absorción de los impactos de las fuerzas de reacción del suelo sobre el cuerpo del jugador (Colby *et al.*, 2014; Ehrmann, Duncan, Sindhuase, Franzsen y Greene, 2016; Nicolella, Torres-Ronda, Saylor y Schelling, 2018).



Figura 12. Dispositivo Optimeye S5 (Catapult), GPS (10 Hz) y acelerómetro 100 Hz.

Diversos estudios se han centrado en la relación entre los acelerómetros y otros sistemas de medición como la frecuencia cardíaca, CE, concentración de lactato sanguíneo o consumo de oxígeno (VO_2) en diferentes actividades (Coe y Pivarnik, 2001; Kozey, Lyden, Howe, Staudenmayer y Freedson, 2010; Montgomery, Pyne y Minahan, 2010). Así, algunos autores han utilizado el número de impactos por encima de 2 g o de impactos de alta intensidad >9 g durante partidos de competición (Russell *et al.*, 2014). Otros, han categorizado la intensidad de los mismos en función al número de impactos en diferentes categorías [de 5.0-6.0 g (ligera), de 6.01-6.5 g (ligera-moderada), de 6.51-7.0 g (moderada-intensa), de 7.01-8.0 g (intensa), de 8.01-10 (muy intensa), y >10.0 g (severa)] (Arruda *et al.*, 2015; Cummins *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2016). Russell *et al.* (2014) encontraron que, durante un partido de fútbol, los futbolistas tuvieron más de 6000 impactos, de los cuales 120 aproximadamente fueron de alta intensidad (>9.0 g). En este mismo trabajo observaron la existencia de una diferencia significativa ($p < 0.01$) de la primera parte (3271 ± 845) con respecto a la segunda (2901 ± 648) en el número de impactos >2 fuerzas g, sin observarse cambios significativos a alta intensidad. Por otro lado, Arruda *et al.* (2015) encontraron un aumento en el número de impactos (zona 1: 5.0-6.0 g) en el partido final de una competición en la que se jugaron 5 partidos en solo 3 días. Sin embargo, el número de aceleraciones por minuto ($>1.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) disminuyó a lo largo del torneo mientras que no se observaron cambios en las variables de carrera (distancia total y número de carreras $>18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Estos autores concluyeron que los perfiles de aceleración y los impactos en jóvenes futbolistas fueron las variables que mejor representaron la carga externa durante un periodo con alto número de partidos en pocos días.

En los últimos años, han aparecido diversas publicaciones que emplean un indicador que integra los datos del acelerómetro en sus diferentes ejes para aportar un valor descriptivo sobre la exigencia de las acciones en todos los planos de movimiento llamado PL, el cual se obtiene a partir de la siguiente fórmula (para la firma GPSport) (ec 2):

$$PL = \sqrt{\frac{(aca \cdot t = i + 1 - aca \cdot t = 1)^2 + (act \cdot t = i + 1 - act \cdot t = 1)^2 + (acv \cdot t = i + 1 - acv \cdot t = 1)^2}{100}}$$

donde *aca* es la aceleración en el eje anteroposterior, *act* es la aceleración en el eje transversal, *acv* es la aceleración en el eje vertical, *i* es el tiempo actual (de la acción) y *t* es el tiempo (total) (Casamichana *et al.*, 2013; Castellano y Casamichana, 2016, p. 67; Nicoletta *et al.*, 2018; Young, Hepner y Robbins, 2012).

En cuanto a la validez y fiabilidad de los acelerómetros utilizados por las casas comerciales de GPS, estas han sido corroboradas a través de diferentes estudios para los dispositivos de 100 Hz en diferentes marcas (Catapult Innovations. Scoresby, Victoria; GPSports. Canberra, Australia) lográndose un aceptable nivel de fiabilidad tanto inter (CV = 0.91-1.05%) como intradispositivo (CV = 1.02-1.04%) (Boyd, Ball y Aughey, 2011; Kelly, Murphy, Watsford, Austin y Rennie, 2015; Nicoletta *et al.*, 2018). Autores como Varley *et al.* (2012) y Akenhead *et al.* (2013) han sugerido que el PL es una herramienta viable para cuantificar los cambios de actividad. En este sentido, Barreira *et al.* (2017) encontraron una fiabilidad de moderada a alta (ICC 0.806 a 0.949) en tareas realizadas a diferentes velocidades, desde esfuerzos de intensidad media como trotar, hasta esfuerzos máximos, siendo por tanto válida para controlar actividades de esta naturaleza en fútbol. Igualmente, se observaron largas correlaciones del PL con la percepción subjetiva del esfuerzo ($r = 0.84$) y otras formas de control de la carga de entrenamiento como los TRIMPs de Edwards ($r = 0.70$), sugiriendo sus autores que el PL podría ser un buen indicador de la carga en sesiones de entrenamiento (Casamichana, Castellano y Castagna, 2012b; Castellano y Casamichana, 2016, p. 77). Por su parte, Castellano y Casamichana (2016, p. 77-78) obtuvieron una correlación alta entre el PL y la velocidad media de la sesión durante 700 registros de sesiones completas de entrenamiento en fútbol (datos sin publicar) ($r = 0.714$). En concordancia con estos estudios, Young *et al.* (2012) concluyeron también que el PL era una variable potencialmente útil como indicador del daño muscular, ya que combina tanto las carreras como otros impactos ocasionales del juego.

Dentro de este ámbito de estudio, el PL ha sido calculado y estudiado para el análisis de diferentes juegos reducidos y partidos. En estas investigaciones se han observado valores superiores durante los entrenamientos en comparación con los

partidos, al igual que sucedió con otras variables más conocidas como los $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ y aceleraciones (Casamichana *et al.*, 2012a; Hissey, 2014). Igualmente, se observó que las situaciones de 3vs3 fueron más exigentes usando el PL que ejercicios de 6vs6, 8vs8 o partidos (Casamichana *et al.*, 2012a). Estos mismos autores concluyeron, en función de sus resultados, que el PL es sensible al cambio del número de jugadores y la orientación del espacio de los juegos reducidos (Castellano *et al.*, 2013), así como las dimensiones del terreno (Hodgson *et al.*, 2014). El PL fue menor cuando el juego fue orientado, aumentando también el número de aceleraciones cuando se empleó un espacio y número de jugadores intermedio ($75 < 150 < 250 \text{ m}^2/\text{jugador}$) (Castellano y Casamichana, 2016, p. 68). En esta línea, Beenham *et al.* (2017) encontraron valores superiores en diferentes formatos de juegos reducidos comparados con los de partido, corroborando los resultados del trabajo de Casamichana *et al.* (2012a). En jóvenes jugadores, el PL permitió también diferenciar entre las posiciones de CM y DC [991.49 unidades arbitrarias (UA) vs 745.84, $p < 0.05$, respectivamente], siendo éstas las únicas diferencias encontradas entre las diferentes demarcaciones (Barron, Atkins, Edmundson y Fewtrell, 2014; Beenham *et al.*, 2017).

Por otro lado, Gabbett y Wheeler (2015) utilizaron una adaptación del PL eliminando el componente vertical para que no influyera en la evaluación de las aceleraciones. Siguiendo estas propuestas, Castellano y Casamichana (2016, p. 68) documentaron una alta correlación en la distancia total recorrida por parte de sus jugadores con el PL y el PL2D (sin el componente vertical) en una actividad aeróbica (0.74 y 0.78 para el PL y el PL2D, respectivamente). Por otro lado, en un juego reducido con un perfil de actividad intermitente (continuas aceleraciones, frenadas, cambios de dirección, etc.), las correlaciones de ambas variables indicaron diferencias entre ambas ecuaciones según datos sin publicar de estos autores (0.74 y 0.56 para el PL y PL2D, respectivamente). Por tanto, el PL2D podría discriminar mejor una actividad intermitente según los investigadores. Como ejemplo, se encontraron valores de $12.9 \text{ UA}\cdot\text{min}^{-1}$ del PL en un ejercicio de 5vs5 con porteros en una superficie de 50x55 m durante 6 min, los cuales se correspondieron con $7.6 \text{ UA}\cdot\text{min}^{-1}$ usando el PL2D (Castellano y Casamichana, 2016, p. 84).

Por su parte, Dalen, Ingebrigtsen, Ettema, Hjelde y Wilsoff *et al.* (2016) indicaron que la combinación del PL con los datos del análisis de las demandas de carrera según

umbrales de velocidad ofrece una amplia información sobre las demandas físicas a las que han estado expuestos los jugadores, ya que el uso de acelerómetros proporciona información sobre acciones intensas que pueden ser clasificadas como baja intensidad por desarrollarse a baja velocidad de carrera. A pesar del auge en el número de artículos sobre las variables de acelerometría, a día de hoy no se incluyen en el top-5 de las variables más usadas por los profesionales de equipos de alto nivel en fútbol (preparadores físicos y científicos) (Akenhead y Nassis, 2016). Sin embargo, sus resultados sí mostraron como las variables relacionadas con la aceleración eran las más usadas para la cuantificación de esfuerzos durante entrenamientos y partidos. No obstante, la reciente permisibilidad del uso de dispositivos GPS en competición facilitará, probablemente, un mayor número de estudios que empleen el uso de los acelerómetros para cuantificar los esfuerzos en fútbol en el futuro, lo que aportará nueva información al respecto.

2.2.3. Potencia metabólica.

Como ya se ha comentado anteriormente, los métodos de control de las exigencias de juego empleados, tanto en la literatura científica como por los profesionales, se han centrado fundamentalmente en el análisis de la distancia recorrida en diferentes categorías de velocidad, atendiendo especialmente a aquellas que suceden a alta velocidad de carrera (Bradley *et al.*, 2010; Buchheit *et al.*, 2013b; Carling *et al.*, 2011; Di Salvo *et al.*, 2009; Gregson *et al.*, 2010; Stevens *et al.*, 2017; Vigne, Gaudino, Rogowski, Alloatti y Hautier, 2010). Como complemento a la velocidad de carrera, las aceleraciones han sido utilizadas, entre otras cosas, para la valoración de la exigencia neuromuscular y la fatiga, siendo contabilizadas según el número de aceleraciones, desaceleraciones, distancia recorrida acelerando, etc. (Akenhead *et al.*, 2013; Bradley *et al.*, 2010; Méndez-Villanueva *et al.*, 2013; Russell *et al.*, 2014).

No obstante, según autores como Gaudino *et al.* (2014a, p. 2) y Osgnach *et al.* (2010) si analizamos ambas por separado, podemos correr el riesgo de no comprender la demanda global de toda la actividad. Siguiendo esta argumentación, el análisis de la distancia recorrida según determinadas intensidades de velocidad podría ignorar las

demandas energéticas derivadas de las aceleraciones y desaceleraciones (Gaudino *et al.*, 2013; Gaudino *et al.*, 2014bc; Osgnach *et al.*, 2010). Si usamos únicamente la distancia cubierta a una velocidad concreta para determinar la carga de tal actividad, podríamos subestimar la exigencia real de la misma. Imaginemos por ejemplo una acción desarrollada a $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, la cual sería incluida como una acción de baja-media intensidad si seguimos las categorías más empleadas en la literatura. No obstante, existe la posibilidad de que esta velocidad de carrera haya sido consecuencia de una aceleración de alta intensidad y que las características de la misma (magnitud y distancia) hayan sido condicionadas por el propio contexto del juego, impidiendo, o no siendo oportuno, que el jugador siguiera acelerando durante más tiempo, lo cual le hubiera hecho alcanzar una velocidad superior. Por tanto, a pesar de la interesante información proporcionada por los datos de la velocidad de carrera, si la aceleración no es considerada para la valoración de estas actividades, la cuantificación real de los resultados podría estar subestimada (Akenhead *et al.*, 2013; Castagna, Varley, Povoas, y D'Ottavio, 2017; Manzi, Impellizzeri y Castagna, 2014; Russell *et al.*, 2014; Stolen *et al.*, 2005). Por ende, entendemos que los jugadores pueden desarrollar una carga metabólica elevada no solo a altas velocidades, sino también en momentos asociados a aceleraciones y desaceleraciones (aunque la velocidad de desplazamiento sea baja) (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 15; Osgnach *et al.*, 2010).

Para intentar solventar esta problemática, Osgnach *et al.* (2010) aplicaron un nuevo modelo de análisis siguiendo la propuesta de Di Prampero *et al.* (2005), quienes elaboraron un método de evaluación basado en la analogía entre la capacidad de sprint en una superficie llana y la carrera en un plano inclinado a velocidad constante. Estos investigadores desarrollaron una serie de algoritmos que permitían conocer la carga metabólica realizada por los futbolistas. Dicha representación puede, según sus autores, solventar las limitaciones del análisis a través de la velocidad de carrera discutida anteriormente, ya que sí tiene en cuenta el CE ocasionado por las aceleraciones y desaceleraciones, permitiendo un estudio más completo y preciso.

Este modelo teórico desarrollado por Di Prampero *et al.* (2005) se basaba en estudios previos que demostraron que el CE andando aumentaba con la velocidad de la marcha. Este valor, a la velocidad constante de $2.48 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ resultó igual a $1.85 \pm 0.57 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 15-16; Margaria, Cerretelli, Aghemo y Sassi, 1963).

Posteriormente, diversos estudios demostraron que el CE de la carrera a velocidad constante es independiente a la velocidad, teniendo un valor de $3.40 \pm 0.24 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (Minetti, Moia, Roi, Susta y Ferreti, 2002). Del mismo modo, las características del terreno tienen una influencia notable sobre el CE, elevando el mismo en terrenos blandos y reduciéndose en superficies más duras (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 16; Lejeune, Willems y Heglund, 1998; Zamparo, Perini, Orizio, Sacher y Ferretti, 1992). Además, el CE también se ve afectado por la biomecánica de carrera y la pisada del deportista, modificando consecuentemente la eficiencia musculotendinosa (Ardigó, Lafortuna, Minetti, Mognoni y Saivene, 1995) e incrementándose en situaciones de fatiga (Brueckner *et al.*, 1991). La inclinación del terreno es otro factor determinante en el CE, ya que pendientes positivas elevan dicho valor por encima de +0.15 en carrera y +0.40 caminando (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 16).

Tomando como base este argumento, Di Prampero *et al.* (2005) estudiaron los picos de velocidad y aceleración de un sprint a máxima intensidad de 30 m saliendo desde parado para plantear un nuevo modelo de análisis del CE. Este enfoque permitía calcular tanto el CE como la PM de las aceleraciones y desaceleraciones con datos del video análisis de partidos a partir de algoritmos basados en la certeza de que la aceleración sobre un terreno plano es energéticamente equivalente a correr en un plano ascendente a velocidad constante (Minetti *et al.*, 2002), donde la pendiente está dictada por la aceleración (Di Prampero *et al.*, 2005; Osgnach *et al.*, 2010).

Durante una aceleración o sprint, el cuerpo del corredor se inclina hacia delante formando un ángulo con la superficie, el cual se reduce cuanto más grande es la aceleración (figura 13A). Como podemos ver en la figura 13, si inclinamos el cuerpo del deportista hacia arriba hasta situarlo en una posición vertical (B), podríamos considerar a la aceleración como el equivalente a correr a velocidad constante en una pendiente equivalente (PE) al ángulo formado por la inclinación del cuerpo y el terreno (α) donde: (ec 3):

$$PE = \tan(90 - \alpha)$$

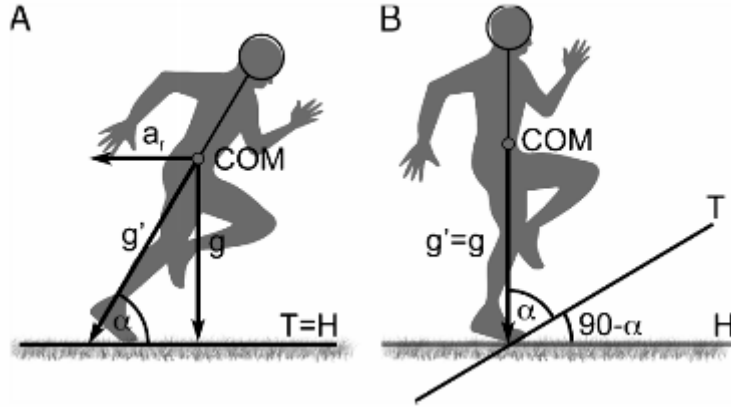


Figura 13. Simplificación de las fuerzas de acción sobre el sujeto durante una aceleración donde COM (center of mass) representa el centro de masas; T, la superficie; H, la horizontal; g, la aceleración de la gravedad; a_f la aceleración frontal; g' , el vector de la suma de a_f y g. La aceleración en una superficie plana (A) es equivalente a correr a velocidad constante en una pendiente ascendente (B), donde el α que forman T con H ($90-\alpha$) es igual al ángulo que forman el cuerpo del sujeto con el terreno sin modificar su pendiente (Osgnach *et al.*, 2010, modificado de Di Prampero *et al.*, 2005).

Tal y como vemos hemos visto, debemos de tener en cuenta que el promedio de la fuerza aplicada por la musculatura durante el sprint es mayor que el peso del cuerpo por la ratio que forman g'/g (figura 13A). Esta ratio, denominada equivalente de masas (EM), representa la sobrecarga generada en el atleta por la propia aceleración y se representa con la siguiente ec (4):

$$EM = \frac{g'}{g}$$

Por tanto, si conocemos los valores de la aceleración, PE y EM pueden ser calculados. Siguiendo las aportaciones de Minetti *et al.* (2002), el CE ($J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$) de la carrera en un plano ascendente a velocidad constante sería (ec 5):

$$CE = 155.4i^5 - 30.4i^4 - 43.3i^3 + 46.3i^2 + 19.5i + 3.6$$

donde i corresponde a la inclinación del terreno y 3.6 es el CE ($J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$) a velocidad constante en una superficie compacta.

A partir de estos datos, y según lo expuesto anteriormente, el CE de una aceleración puede ser obtenido a través de (ec 6):

$$CE = (155. PEi^5 - 30.4 PE^4 - 43.3 PE^3 + 46.3 PE^2 + 19.5 PE + 3.6) \cdot EM$$

donde i ha sido remplazada por PE y el CE total por el EM originado por la aceleración.

Conocido el CE, la PM puede ser calculada multiplicando dicho CE por la velocidad de carrera (v) (ec 7):

$$PM = CEv$$

De esta forma, en la propuesta de Di Prampero *et al.* (2005) sobre un sprint de 30 m, citada anteriormente, encontraron que el pico de velocidad fue logrado 5 s después de la salida ($34.06 \pm 0.68 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), mientras que la máxima aceleración se logró inmediatamente después del inicio ($6.42 \pm 0.61 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, a los 0.2 s), dándose unos valores de $50 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ aproximados, los cuales fueron reduciéndose a lo largo del sprint hasta llegar los valores del CE a velocidad constante en terreno plano ($3.8 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$). Por otro lado, los valores de PM llegaron a alcanzar picos de $100 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ al comienzo de la aceleración (0.5 s).

Años más tarde, Osgnach *et al.* (2010) fueron los primeros en emplear la propuesta de Di Prampero *et al.* para evaluar a jugadores de fútbol con los datos de carrera y compararlos con los resultados de los metros recorridos a una velocidad determinada. Para ello, registraron un total de 56 partidos de la Serie A (Primera División de Italia) con un sistema de video-análisis semiautomático a 25 Hz (SICS®, Bassano del Grappa, Italia) para el análisis de los encuentros. Para los datos de velocidad de carrera emplearon 6 categorías: andando, trote, baja velocidad, velocidad intermedia, alta velocidad y máxima velocidad ($0-8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $8-13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $13-16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $16-19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $19-22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $>22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente); mientras que para la PM usaron 5 franjas: baja potencia, potencia intermedia, alta potencia, potencia elevada y máxima potencia ($0-10 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, $10-20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, $20-35 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, $35-55 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, $>55 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente).

Para adaptar la fórmula de Minetti *et al.* (2002) se multiplicó la ec 6 por una constante de terreno (KT) ($KT = 1.29$) debido al hecho de que la superficie empleada por estos autores durante su investigación (un tapiz rodante) difiere de las propiedades de un

terreno de juego, llegando a estimar que el CE es un 30% más en un campo de fútbol que sobre una superficie compacta aproximadamente (Osgnach *et al.*, 2010; Pinnington y Dawson, 2001). Además de estos datos, estos investigadores desarrollaron un equivalente que representa qué distancia (en m) hubiera recorrido el jugador si hubiera corrido a velocidad constante usando toda la energía empleada durante el encuentro (equivalente de distancia: ED), calculándose mediante la siguiente ec (8):

$$ED = \frac{W}{CEcKT}$$

donde W es el total de energía gastada ($J \cdot kg^{-1}$), CEc es el CE a velocidad constante sobre una superficie compacta y KT es la constante para la superficie del campo.

Los datos de este pionero estudio mostraron, entre otras cosas, que durante un partido de fútbol se gastan un promedio de $61.12 \pm kJ \cdot kg^{-1}$ ($14.60 \pm 1.57 kcal \cdot kg^{-1}$). Teniendo en cuenta el modelo teórico empleado, los autores indicaron que, para una velocidad de carrera dada, la PM puede ser diferente en función de si dicha velocidad es constante o si ésta fluctúa debido a aceleraciones y desaceleraciones. Esto representaría un gran hallazgo para el estudio de las demandas de partido, ya que tal contraste no podía ser conocida antes, puesto que, cuando se estudiaban los datos de velocidad de carrera a una intensidad dada, éstos no tenían en cuenta si esta velocidad provenía de una aceleración hasta dicha intensidad o si por el contrario se trataba de una carrera constante, obviando, por tanto, el posible CE de la aceleración. Si consideramos la velocidad de $16 km \cdot h^{-1}$, la distancia cubierta por encima de dicho valor representó aproximadamente el 18% de la distancia total recorrida a lo largo del partido. Si aplicamos la ec 9, la PM a esta velocidad cuando un jugador corre sobre un campo de fútbol sería de $20 W \cdot kg^{-1}$ aproximadamente (Castagna *et al.*, 2017; Osgnach *et al.*, 2010) (ec 9).

$$PM = CEvKT = 3.6 \cdot 4.44 \cdot 1.29 \cong 20 W \cdot kg^{-1}$$

Si empleamos dicho valor para la PM ($>20 W \cdot kg^{-1}$) en lugar de velocidad ($>16 km \cdot h^{-1}$), los resultados de este estudio mostraron que se recorrió a alta intensidad de PM un 42% de la distancia total, siendo este valor un 26% superior al observado utilizando el umbral de velocidad de carrera. Por tanto, según estos investigadores, la PM tuvo en consideración el CE derivado de las aceleraciones, elevando ésta la cantidad de metros a

alta intensidad en comparación con un análisis basado exclusivamente en los metros recorridos. Como conclusión, estos investigadores argumentaron que este enfoque permite conocer el CE, incluyendo las demandas de las aceleraciones y desaceleraciones, siendo posible además conocer la PM de forma instantánea. Esto permitiría, según estos autores, redefinir el concepto de alta intensidad debido a las diferencias halladas entre los resultados de los metros recorridos considerando el umbral de velocidad y de potencia.

Años más tarde, han ido apareciendo diversas publicaciones que incluyen la PM entre sus variables de análisis en diferentes deportes de equipo en base a la conclusión de que es una mejor estimación de las demandas en el juego, ya que el modelo basado en la velocidad subestima las exigencias de las aceleraciones y frenadas (Coutts *et al.*, 2014; Gaudino *et al.*, 2013; Gaudino *et al.*, 2014bc; Hoppe *et al.*, 2017; Polglaze, Dawson y Peeling, 2016; Stevens, De Ruiter, Beek y Savalsbergh, 2016; Varley y Aughey, 2013). De hecho, en un artículo reciente de Akenhead y Nassis (2016), realizado a través de encuestas dirigidas a los departamentos de análisis del rendimiento y servicios médicos de clubs de fútbol profesional, se indicó que la PM es una de las 10 variables más usadas para cuantificar la demanda física durante entrenamientos por los técnicos, estando incluso por encima de otras como la frecuencia cardíaca o la percepción subjetiva del esfuerzo. No obstante, no se encontró entre las 10 variables más empleadas para cuantificar los esfuerzos en partido.

En esta línea, las siguientes aportaciones llegaron de la mano de Gaudino y colaboradores, quienes realizaron una serie de investigaciones encaminadas a comparar las acciones a alta intensidad durante sesiones de entrenamiento según posiciones de juego (Gaudino *et al.*, 2013), evaluar la relación entre la estimación de las acciones a alta intensidad durante situaciones de juego reducido usando la PM y la velocidad de carrera como métodos de valoración y si éstas dependían de las posiciones de juego o las características del ejercicio (Gaudino *et al.*, 2014b), y analizar los cambios ocurridos con las modificaciones en los formatos de los juegos reducidos según número de jugadores o inclusión o no de porteros (Gaudino *et al.*, 2014c).

Así, en su primer trabajo, Gaudino *et al.* (2013) registraron 10 semanas de entrenamiento en un equipo de la Premier League inglesa, en las cuales dividieron a sus jugadores, según sus demarcaciones, para valorar su desempeño a lo largo de este periodo

durante los entrenamientos del equipo con el objetivo de comparar entre ambos métodos (PM y velocidad de carrera). Para ello, emplearon 3 categorías de alta intensidad en ambos enfoques. La velocidad se dividió en alta, muy alta y máxima velocidad ($14.4-19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $19.8-25.28 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y $>25.28 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente); mientras que la PM en alta, elevada y máxima potencia ($20-35 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, $35-55 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, $>55 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente). Las conclusiones de esta investigación fueron que, valorar las demandas energéticas en fútbol utilizando la velocidad de carrera, subestima el CE empleado, ya que no se tienen en cuenta las aceleraciones y desaceleraciones, sobre todo a alta intensidad de velocidad de carrera. Dicha subestimación podría ser todavía mayor en sesiones de entrenamiento o en posiciones de juego asociadas con una menor actividad de alta intensidad. Además, sus resultados mostraron diferencias significativas entre las demarcaciones durante actividades específicas, donde los CM fueron los que recorrieron más metros a alta intensidad, empleando tanto la velocidad de carrera ($>14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) como la PM ($>20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) y siendo los DC los que obtuvieron los resultados más bajos. Esta valoración a alta intensidad basada en datos de la PM ha demostrado tener una moderada correlación con el consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{max}}$) en futbolistas de élite (Manzi *et al.*, 2014).

Más tarde, en el segundo trabajo, Gaudino *et al.*, (2014b) investigaron qué sucedía y cuales eran las diferencias entre ambos métodos durante ejercicios de juego reducido de diferentes características de espacio y jugadores. Se basaron nuevamente en la distancia total recorrida a alta intensidad de carrera y de PM ($>14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y $>20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente) monitorizada a través de dispositivos GPS (15 Hz) en ejercicios de 5vs5, 7vs7 y 10vs10 con diferentes áreas relativas por jugador (75, 98, 135 m^2 , respectivamente). Sus resultados mostraron que, cuanto más reducida era el área por jugador (5vs5), mayor fue la magnitud del cambio comparando entre ambos métodos (196%, 99% y 55% en 5vs5, 7vs7, y 10 vs10, respectivamente) (figura 14). Por otro lado, cuando se incluía la presencia de porteros en juegos reducidos de idénticas características (Gaudino *et al.*, 2014c), estos ejercicios mostraban la misma relación significativa con la participación o no de guardametas ($10\text{vs}10 > 7\text{vs}7 > 5\text{vs}5$; $p < 0.001$) en cuanto a la distancia recorrida a alta intensidad, tanto en velocidad como PM. Sin embargo, cuando fueron considerados los cambios de velocidad superiores a $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ se mostró la relación inversa ($5\text{vs}5 > 7\text{vs}7 > 10\text{vs}10$; $p < 0.001$) (figura 15). Esto sugiere que la capacidad de valorar las exigencias en un espacio reducido, donde se dan acciones de corta duración/distancia a una intensidad elevada, por parte de un análisis a través de los metros recorridos a alta

velocidad, puede llevar a una grave malinterpretación de las demandas de la actividad, ya que al no lograrse altas velocidades de carrera, los esfuerzos son considerados de intensidad baja. Por otro lado los resultados observados por los datos de aceleración nos muestran lo contrario.

En cuanto al uso de ambos métodos de análisis para los diferentes modelos de juegos reducidos, los resultados mostraron como se realizó una mayor distancia considerando la alta intensidad a través de la PM, siendo estos datos superiores a los de la velocidad de carrera en todos sus formatos. Además, esta diferencia aumentó cuanto más se reducían las condiciones del espacio (5vs5>7vs7>10vs10). Si tenemos en cuenta el mismo número de jugadores, los resultados, usando la PM, fueron más altos para el juego reducido sin porteros (conservación de balón) en comparación al juego con porteros.

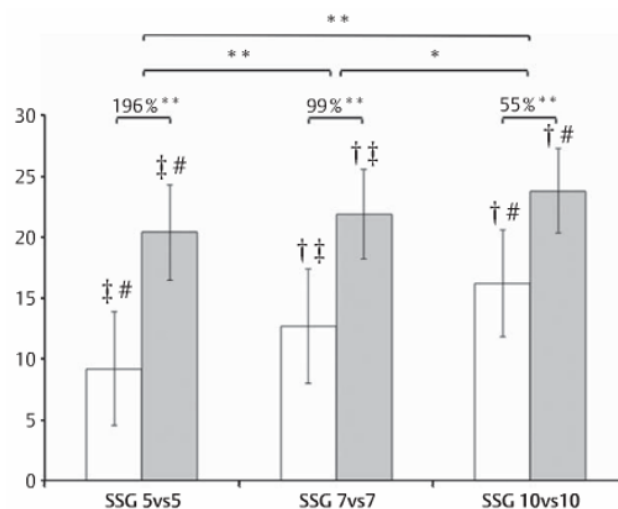


Figura 14. Magnitud del cambio entre distancia cubierta (%) a alta velocidad ($>14.4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) (en blanco) y distancia cubierta (%) a alta PM ($>20 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$) (en gris) en tres modelos diferentes de juegos reducidos.* Diferencias significativas ($p<0.01$). ** Diferencias significativas ($p<0.001$) (Gaudino *et al.*, 2014b).

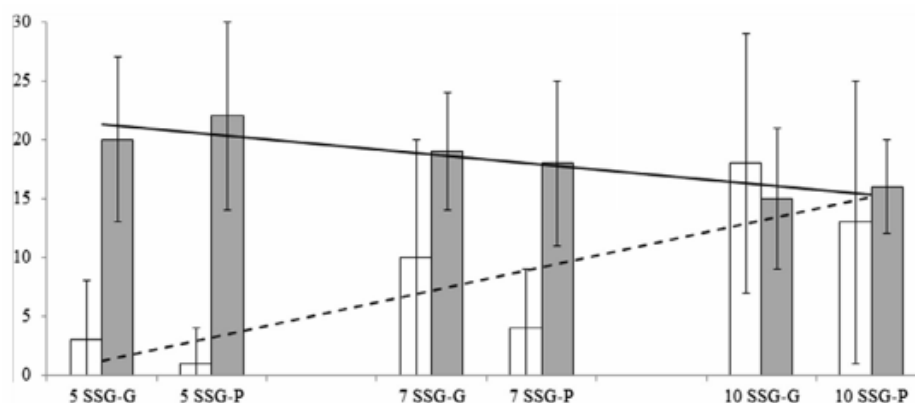


Figura 15. Distancia cubierta (m) a muy alta velocidad ($>19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) (en blanco, línea de regresión discontinua) y número total de aceleraciones y desaceleraciones ($>2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) (en gris, línea de regresión continua). (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 47; Gaudino *et al.*, 2014c).

Los argumentos presentados por estos investigadores concuerdan con lo citado previamente, ya que, en áreas pequeñas, la posibilidad de acelerar y desacelerar para lograr alta velocidad está más condicionada que en superficies de mayor tamaño. Por tanto, la diferencia entre la valoración usando la PM y la velocidad de carrera a altas intensidades difiere notablemente (196%, 99% y 55% en los 75, 98, 135 m², respectivamente, con un $p<0.001$ en todos ellos) (figura 15). Ante estos resultados, nuevamente nos planteamos una interrogante: ¿qué sucedería si comparamos entre ambos métodos a media y baja intensidad? Si la PM considera la capacidad de acelerar y desacelerar, como ya han indicado varios autores (Gaudino *et al.*, 2013; Gaudino *et al.*, 2014bc; Osgnach *et al.*, 2010), sería interesante conocer qué sucede en esos espacios cortos donde no se alcanzan altas velocidades pero sí puede haber aceleraciones de gran magnitud, ya que es ahí donde puede haber una subestimación valorando las demandas solo a través de la velocidad alcanzada (Brown, Dwyer, Robertson y Gatin, 2016; Rampinini *et al.*, 2015).

Otro aspecto interesante en lo relativo al análisis de la PM es la variabilidad que puede presentar ésta. Así, Hoppe *et al.* (2017) analizaron este aspecto en partidos amistosos de pretemporada. Estos investigadores encontraron que dicha variabilidad (CV de 2-7%), derivada de los datos de GPS, fue más baja en intensidades menores que a alta intensidad ($\geq 20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$), siendo esta última comparable a la variabilidad observada en las acciones a alta velocidad ($\geq 15.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y con aceleraciones/desaceleraciones intensas

($\geq 3 \text{ m}\cdot\text{s}^2$; $\geq -3 \text{ m}\cdot\text{s}^2$). Esta elevada variabilidad a alta intensidad en la PM se asemeja a otros estudios previos que también mostraron valores similares a alta velocidad de carrera (Mohr *et al.*, 2003). Estos hallazgos se podrían justificar por las condiciones del propio juego (exigencias del rival, táctica, influencia del resultado, etc.), las cuales posibilitan que este tipo de acciones se lleven a cabo en mayor o menor medida, no siendo necesario en ocasiones que se desarrollen altas intensidades (Buchheit *et al.* 2014a; Gregson *et al.*, 2010; Hoppe *et al.*, 2011; Rampinini *et al.*, 2007b). Otro descubrimiento por parte de estos autores fue que los defensores obtuvieron un promedio de CE superior a centrocampistas y atacantes. Sin embargo, estos resultados pueden deberse a que únicamente agruparon a los jugadores en estas tres demarcaciones (defensas, centrocampistas y atacantes). No obstante, y en vista a estudios previos ya citados, resulta llamativo que la combinación de DC y DL tenga un gasto promedio superior a los CM y los CL en función a las diversas publicaciones al respecto, comentadas en apartados anteriores. La explicación más razonable radica en el efecto del peso corporal de los defensores, el cual es considerado por la PM y subestimado por el análisis a través de la velocidad. Siguiendo este argumento, en este estudio, la masa corporal de estos defensores fue significativamente superior al resto de demarcaciones [defensores > (centrocampistas = atacantes); $p < 0.01$; $ES > 0.6$], por lo que, según sus autores, este ha sido el motivo de dicho resultado.

Castagna *et al.* (2017) fueron los primeros que evaluaron el grado de asociación entre ambos métodos en las acciones de alta intensidad, considerando tanto las distancias recorridas según la velocidad de carrera ($> 16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, entre $18.97\text{-}21.99 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y $> 22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, PM ($> 20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$), aceleraciones y desaceleraciones ($> 2 \text{ m}\cdot\text{s}^2$, $> -2 \text{ m}\cdot\text{s}^2$, $> 3 \text{ m}\cdot\text{s}^2$ y $> -3 \text{ m}\cdot\text{s}^2$). Su mayor descubrimiento fue la casi perfecta correlación entre la PM y la distancia recorrida según umbrales de velocidad ($r = 0.93$) a alta intensidad en términos relativos. Sin embargo, ambas variables diferían un 52% en términos absolutos aproximadamente, favorable a la distancia recorrida a alta intensidad de PM. Estos resultados sugirieron, según sus autores, que existe una diferencia en cuanto a los criterios de información de ambos métodos. A raíz de este hallazgo, podemos entender nuevamente la limitación de los umbrales de velocidad para considerar las aceleraciones que suponen un alto grado de esfuerzo, infravalorando, por tanto, la demanda de dichas acciones, ya que la distancia a alta intensidad, usando la PM, es mucho más alta que valorando este aspecto según la distancia recorrida a determinadas velocidades.

Por otro lado, Stevens *et al.* (2015), Buchheit, Manouvrier, Cassirame y Morin (2015), y Brown *et al.* (2016) descubrieron en recientes estudios que, usando la propuesta de Di Prampero *et al.* (2005), el CE durante movimientos intermitentes (aceleraciones y/o desaceleraciones) era subestimado cuando se realizaban giros de 180 grados (Stevens *et al.*, 2015) y en circuitos de habilidad específica (Brown *et al.*, 2016; Buchheit *et al.*, 2015), al mismo tiempo que los sobreestimaba a velocidad constante (Stevens *et al.*, 2015). En vista de los resultados, alguno de esos autores (Brown *et al.* 2016) consideraron que la PM es un método impreciso para proporcionar información en deportes de equipo con actividad intermitente, siendo más apropiada para estimar el gasto de energía durante otras modalidades con un perfil más continuo en los esfuerzos (carrera continua, por ejemplo).

En esta línea, el trabajo de Buchheit *et al.* (2015) se centró en examinar la validez y fiabilidad de la PM durante acciones específicas de fútbol utilizando dispositivos GPS (4-Hz) y un analizador de gases portátil. La correlación entre ambas estimaciones de la PM fue pequeña [intervalos de confianza (IC) del 90% = 0.24; 0.14-0.33], con grandes variaciones en las aceleraciones, desaceleraciones y distancias $>20 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ (CV $>50\%$ en todos los casos). En vista a esta baja fiabilidad, estos investigadores cuestionaron la validez de esta propuesta para la monitorización del CE en fútbol. En respuesta a este estudio, Osgnach, Paolini, Roberti, Vettor y Di Prampero (2016) argumentaron que, en cualquier momento dado, el $\text{VO}_{2\text{max}}$ puede ser mayor, igual o menor a la PM debido a que la cinética del VO_2 es bastante más lenta en comparación con la tasa de cambio de la intensidad de trabajo, por lo que es menor que los valores de PM durante la realización de ejercicios y mayor después de dicha actividad debida a la deuda de oxígeno durante el periodo de recuperación. Hader, Méndez-Villanueva, Palazzi, Ahmaidi y Buchheit (2016), por su parte, encontraron una disociación entre la PM y la actividad muscular durante acciones con cambios de dirección, lo cual cuestiona, según ellos, el uso de la PM como única medida para valorar las demandas de carrera en fútbol. En este trabajo se compararon los resultados de la actividad muscular (usando sensores electromiográficos) y los valores de PM durante carreras de sprint de 20 m con cambios de dirección de 45° y 90° y en línea recta. Los resultados indicaron que la demanda metabólica del sprint con cambio de dirección fue substancialmente más baja que durante un sprint en línea recta, siendo incluso esta diferencia superior cuando se incrementaba el ángulo del giro (de 45° a 90°), mientras que la actividad muscular fue mayor.

Por otro lado, parece que, el estudio de los esfuerzos cuando estos se desarrollan a una velocidad baja, puede ser de gran importancia para el análisis y la comprensión de las acciones, ya que es a baja velocidad donde se producen los cambios más bruscos de velocidad (Bradley *et al.*, 2010; Sonderegger *et al.*, 2016). Basándonos en el reciente estudio de Minetti, Gaudino, Seminati y Cazzola (2013), para que un cambio de velocidad (aceleración/desaceleración) sea importante a nivel de exigencia mecánica y metabólica, este debe de ser mayor a $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (o menor a $-2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 28). Comparando ambos modelos únicamente a alta velocidad de carrera, parece lógico pensar (en función a lo publicado previamente en la literatura) que no encontraremos aceleraciones de gran intensidad usando umbrales absolutos. Si tenemos en cuenta la velocidad inicial de las aceleraciones, recientes publicaciones han mostrado como en jugadores de élite dicha velocidad varía según las posiciones de juego, realizando los DEL y los CL un mayor número de aceleraciones a alta intensidad ($>75\%$ de la aceleración máxima) partiendo de una velocidad superior a $14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, mientras que otras demarcaciones como los DL, los DC o los CM lo hicieron en mayor número a una velocidad inferior a $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (De Hoyo *et al.*, 2017). Usando umbrales absolutos, Bradley *et al.* (2010) indicaron que el 98% aproximado de las aceleraciones máximas ($>2.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) comenzaron a una velocidad $<14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, no alcanzándose en el 85% de los casos velocidades finales superiores a los $\sim 15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

En vista de las controversias presentadas sobre la PM, velocidad de carrera y, según los recientes artículos publicados sobre las características de las aceleraciones en fútbol, son necesarias futuras investigaciones para: 1) comprobar la validez y fiabilidad de la PM para el análisis de partidos y entrenamientos, 2) estudiar la relación entre ambos métodos de análisis a baja intensidad.

2.2.4. Aceleraciones.

Como hemos citado anteriormente, el análisis de las demandas de movimiento en el fútbol ha ido creciendo en interés durante los últimos años, convirtiéndose en una herramienta esencial para la valoración de los esfuerzos, tanto en entrenamientos como

en partidos (Arruda *et al.*, 2015; Bradley *et al.*, 2009; Bradley *et al.*, 2010; Casamichana *et al.*, 2012a; De Hoyo *et al.*, 2017; Di Salvo *et al.*, 2009; Stroyer, Hansen y Hansen, 2004). Las acciones a alta intensidad resultan fundamentales en el juego para la consecución de objetivos, tales como llegar antes al balón o alejarse de un contrario, siendo estas acciones consideradas determinantes en el resultado (Buchheit *et al.*, 2014a; Carling *et al.*, 2008; Di Salvo *et al.*, 2007). Ingebrigtsen *et al.* (2015) observaron como su equipo (campeón de la liga de Noruega) realizó un promedio de aceleraciones substancialmente inferior a otros estudios publicados con equipos de ligas más competitivas. En vista de estos resultados, podríamos considerar que puede ser un factor diferenciador del nivel competitivo, al igual que sucede con otras variables de alta intensidad como la distancia recorrida a sprint (Varley y Aughey, 2013). A día de hoy, sabemos que dichas acciones llegan a durar un máximo de 4 s aproximadamente, sin extenderse más de 20 m de distancia (Di Salvo *et al.*, 2007). Por tanto, es lógico pensar que la capacidad de realizar esfuerzos a alta intensidad en el menor tiempo posible (acelerar, desacelerar, saltar o tirar) puede resultar esencial para el rendimiento de los jugadores. Dicho esto, la creación de perfiles de aceleración y velocidades máximas puede ofrecer una importante información para valorar los estados de fatiga según el nivel competitivo y las posiciones de juego (Arruda *et al.*, 2015; Bradley *et al.*, 2010).

Las aceleraciones y/o desaceleraciones están caracterizados por rápidas contracciones concéntricas y excéntricas, las cuales provocan grandes exigencias mecánicas que producen daño muscular debido a las fuerzas resultantes que actúan sobre el sistema músculo-esquelético, debiendo de ser absorbidas por las estructuras musculares (Bobbert, Schamhardt y Nick, 1991; Proske y Morgan, 2001). En esta línea, una desaceleración combinada con cambios de dirección ha sido identificado como un movimiento común que puede derivar en lesiones sin contacto, como el caso de la ruptura del ligamento cruzado anterior (Alentorn-Geli *et al.*, 2009). Algunos estudios han mostrado como el aumento en las exigencias de ambas variables (aceleración y desaceleración) (junto a otras como el sprint) provoca un aumento del daño muscular en los futbolistas, medido a través del aumento de la concentración de creatin kinasa (CK) y a la percepción del dolor muscular (Varley, Lewin, Needham, Thorpe, y Burbeary, 2017a; Young *et al.*, 2012). En esta línea, varios artículos han indicado, igualmente, que las contracciones musculares excéntricas inducen a un daño muscular mayor que las

concéntricas, medidas también a través de la CK (Nosaka y Newton, 2002; Young *et al.*, 2012).

De acuerdo con lo expuesto en los apartados precedentes, los esfuerzos de alta intensidad, en base a umbrales de velocidad, son considerados cuando el jugador alcanza una velocidad umbral predefinida, situada normalmente entre 18-30 km·h⁻¹ (De Hoyo *et al.*, 2017; Haugen y Buchheit, 2016). Sin embargo, varios autores han concluido que esta forma de cuantificación de la carga de trabajo tiene importantes limitaciones que deberían de ser tenidas en cuenta cuando se emplean estos umbrales absolutos, ya que durante acciones de corta duración, o desarrolladas en un espacio pequeño, el jugador no dispone del tiempo o distancia para lograr una velocidad lo suficientemente elevada como para considerarla de alta intensidad, incluso aunque esté acelerando al máximo de sus posibilidades. Por tanto, tales esfuerzos de gran magnitud podrían no ser considerados como tales empleando umbrales absolutos de velocidad. Dicho de otra forma, subestimarían los esfuerzos de alta intensidad en movimientos que implican aceleraciones (Akenhead *et al.*, 2013; Dwyer y Gabbet, 2012; Mara, Thompson, Pumpa y Morgan, 2017; Osgnach *et al.*, 2010; Varley y Aughey, 2013).

Por ende, para evitar subestimar, o sobrestimar, las acciones de alta intensidad realizadas a baja velocidad de carrera, es necesario analizar estas actividades a través de las aceleraciones. Dicho esto, teniendo en cuenta que la distancia requerida para lograr la máxima velocidad desde parado o en movimiento (~40 m y ~29 m, respectivamente) y las cortas distancias de sprint que acontecen en el fútbol (20 m) (Di Salvo *et al.*, 2010; Di Salvo *et al.*, 2009), la capacidad de acelerar podría ser un gran estimador de análisis de las acciones decisivas en el fútbol (Carling *et al.*, 2008; Nedelec *et al.*, 2014; Northeast *et al.*, 2017; Varley y Aughey, 2013).

Siguiendo esta línea, Varley y Aughey (2013) encontraron una independencia entre ambas variables. En su trabajo, observaron como los jugadores que alcanzaban la intensidad de velocidad máxima durante las aceleraciones de gran magnitud eran reducidos. Tanto, que solo el 34% de los sprint que se realizan durante un encuentro fueron realizados acelerando al máximo, mientras que el 85% de las aceleraciones máximas tuvieron una velocidad final por debajo de 15 km·h⁻¹. Además, el 98% de las aceleraciones de alta intensidad (>2.78 m·s⁻²) comenzaron a una velocidad inferior a 15

km·h⁻¹. Estas aportaciones concuerdan con las afirmaciones de otros autores, quienes han indicado que la capacidad de acelerar es mayor cuando la acción se desarrolla desde una velocidad baja, produciéndose por tanto cambios de velocidad más bruscos y sobrepasando el umbral preestablecido con mayor facilidad que desde una acción que parte de una velocidad de carrera superior (Bradley *et al.*, 2010; Sonderegger *et al.*, 2016).

En la literatura científica, la mayoría de los estudios han analizado la aceleración en función a umbrales absolutos preestablecidos según los m·s⁻² alcanzados. Algunos de los criterios empleados para considerar una aceleración como tal son: 1) alcanzar un mínimo de 1 m·s⁻² para indicar el inicio de la aceleración, 2) exceder el límite de 2 m·s⁻² para ser considerada una aceleración, 3) mantenerse como mínimo 0.5 s, y 4) finalizar cuando la aceleración baje por debajo del umbral mínimo establecido (1 m·s⁻²). En el caso de las desaceleraciones se han empleado los mismos criterios pero en valores negativos (Ingebrigtsen *et al.*, 2015; Varley, Jaspers, Helsen y Malone, 2017b; Vigh-Larsen, Dalgas y Andersen, 2018).

Una gran cantidad de investigaciones han utilizado diferentes valores de intensidad para la catalogación de la magnitud de las aceleraciones a baja, media y alta intensidad, con una mayor predilección por contabilizar las que acontecen a alta intensidad. En esta línea, los más empleados para las aceleraciones a alta intensidad han sido >2 m·s⁻² (Stevens *et al.*, 2017), >2.78 m·s⁻² (Varley y Aughey, 2013; Varley *et al.*, 2017b), >3 m·s⁻² (Ade *et al.*, 2014; Akenhead *et al.*, 2013; Castagna *et al.*, 2017; Hodgson *et al.*, 2014; Hoppe *et al.*, 2017; Osgnach *et al.*, 2010; Russell *et al.*, 2014), o incluso >4 m·s⁻² (Bradley *et al.*, 2010; Wehbe, Hartwig y Duncan, 2014), siendo estos mismos valores en términos negativos para las desaceleraciones a alta intensidad. En jóvenes futbolistas este umbral ha sido ubicado en aceleraciones >1.8 m·s⁻² (Arruda *et al.*, 2015). La cuantificación para el estudio se ha realizado a través del número total, distancia recorrida y tiempo acelerando/desacelerando (Castellano y Casamichana, 2016, p. 67).

En concordancia con estos argumentos, otros trabajos nos han demostrado como acelerar y desacelerar son actividades que requieren de un mayor CE en comparación con una carrera a velocidad constante (Osgnach *et al.*, 2010). Además, la realización de una aceleración desde una baja velocidad de carrera excede la potencia requerida para mantener una velocidad superior (Gaudino *et al.*, 2014a; Osgnach *et al.*, 2010).

A día de hoy, sabemos que un futbolista profesional recorre alrededor del 18% de la distancia total realizando aceleraciones o desaceleraciones $>1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, variando este porcentaje y reduciéndose a medida que elevamos la intensidad: 7.5% entre $1\text{-}2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, 4.3% entre $2\text{-}3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, y el 3.3% cuando las aceleraciones son $>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (Akenhead *et al.*, 2013). Cabe mencionar que en muchos de estos artículos solo se incluyen las aceleraciones, obviándose las exigencias que suponen las frenadas debido al componente excéntrico. Como referencia, estudios llegados a cabo por Bloomfield *et al.* (2007bc) reflejaron que los jugadores realizaban alrededor de 54.1 desaceleraciones y 558 giros durante un partido, acciones que generan una gran exigencia muscular a nivel excéntrico y las cuales deberían ser consideradas para su inclusión en programas de acondicionamiento.

En la tabla 5 se resumen los resultados de muchos de los estudios que han analizado aceleraciones y desaceleraciones durante partidos. En un estudio realizado en la Serie A (Primera división de Italia) Osgnach *et al.* (2010) encontraron que, a lo largo de un encuentro, un jugador realiza $180 \pm 67 \text{ m}$ acelerando a una intensidad $>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ y durante un tiempo aproximado de $51 \pm 18 \text{ s}$. Por otro lado, desacelerando a $>-3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, los registros mostraron una distancia de $188 \pm 68 \text{ m}$ y un tiempo de $50 \pm 16 \text{ s}$. Si acumulamos la distancia recorrida acelerando y desacelerando a $>2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ o $>-2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ los jugadores recorrieron un total de 1190 m, representando un 10.8% aproximado de la distancia total recorrida de promedio ($10950 \pm 1044 \text{ m}$).

Estudio	Sujetos	Sistema análisis	Umbral/es	Aceleraciones / Desaceleraciones		Estadística
Osgnach <i>et al.</i> , 2010	Serie A Italia	Sistema semiautomático o SICS ® 25-Hz	Ac: $>3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ Des: $> -3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	Tiempo (s) Ac: 51 ± 18 Des: 50 ± 16	Distancia (m) Ac: 180 ± 67 Des: 188 ± 65	
Varley, Gabbett y Aughey, 2014	Primera división Australia	GPS 5-Hz	$>2.78\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	n° 65 ± 21 Ac/min 0.68 ± 0.22		
Akenhead <i>et al.</i> , 2013	Jugadores profesionales y Sub-21	GPS 10-Hz	Ac: $>3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ Des: $> -3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	n° Ac: <u>1ª Parte:</u> 91 ± 23 <u>2ª Parte:</u> 88 ± 18 <u>Total:</u> 178 ± 38	n° Des: <u>1ª Parte:</u> 84 ± 17 <u>2ª Parte:</u> $78 \pm 15^*$ <u>Total:</u> 162 ± 29	* Diferencia significativa vs 1ª parte (p <0.05)
Varley y Aughey, 2013	Primera división Australia	GPS 5-Hz	$>2.78\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	DC: <u>1ª Parte:</u> 28 ± 10^a <u>2ª Parte:</u> 28 ± 11^a <u>Total:</u> 56 ± 18^a DL: <u>1ª Parte:</u> $47 \pm 7^{b,c,d}$ <u>2ª Parte:</u> $43 \pm 10^{b,c}$ <u>Total:</u> $90 \pm 15^{b,c,d}$	CM: <u>1ª Parte:</u> 30 ± 13 <u>2ª Parte:</u> 30 ± 10 <u>Total:</u> 60 ± 20 CL: <u>1ª Parte:</u> 35 ± 10 <u>2ª Parte:</u> 30 ± 11^e <u>Total:</u> 65 ± 18 DEL: <u>1ª Parte:</u> 34 ± 12 <u>2ª Parte:</u> 34 ± 10 <u>Total:</u> 69 ± 19	Diferencia significativa (p <0.05): ^a vs DL ^b vs CM ^c vs CL ^d vs DEL ^e vs 1ª parte
Russell <i>et al.</i> , 2014	Premier League Sub-21	GPS 10-Hz	Ac: $>3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ Des: $> -3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	n° Ac: <u>1ª Parte:</u> 14 ± 5 <u>2ª Parte:</u> 12 ± 4	n° Des: <u>1ª Parte:</u> 24 ± 7 <u>2ª Parte:</u> $19 \pm 6^*$	* Diferencia significativa vs 1ª parte (p <0.05)

Wehbe <i>et al.</i> , 2014	Primera división Australia	GPS 5-Hz	Ac: >4m·s ⁻² Des: > -4 m·s ⁻²	<i>Ac/minuto:</i> Defensores: 7.2 ± 3.38 CM: 8 ± 3.37 Atacantes: 4.8 ± 4.76	<i>Des/minuto:</i> Defensores: 24±8.46 CM: 32.1±7.05 ^a Atacantes: 16±3.81 ^b	Diferencia significativa (p <0.05): ^a vs defensores ^b vs CM
Ingebrigtsen <i>et al.</i> , 2015	Primera División Noruega	RadioEye™ ZXY Sport Chip	>2 m·s ⁻²	<u>Total:</u> 90.7 ± 20.9 <u>Total 1ª Parte:</u> 44 ± 12.2 <u>Total 2ª Parte:</u> 46.7 ± 11.6 ^a <i>DC:</i> <u>1ª Parte:</u> 47.1 ± 11.8 <u>2ª Parte:</u> 39.8 ± 9.8 <u>Total:</u> 86.9 ± 18 <i>DL:</i> <u>1ª Parte:</u> 52 ± 10.9 <u>2ª Parte:</u> 43.4 ± 10.7 <u>Total:</u> 95.4 ± 19.4 <i>CM:</i> <u>1ª Parte:</u> 41.5 ± 10.8 <u>2ª Parte:</u> 43.7 ± 14.9 <u>Total:</u> 85.2 ± 23.6	<i>CL:</i> <u>1ª Parte:</u> 52 ± 12.3 <u>2ª Parte:</u> 53.5 ± 12.2 <u>Total:</u> 105.5 ± 22.2 <i>DEL:</i> <u>1ª Parte:</u> 40.8 ± 6.3 <u>2ª Parte:</u> 42.9 ± 12.2 <u>Total:</u> 83.7 ± 13.8 <i>DC+CM+DEL:</i> <u>1ª Parte:</u> 43 ± 10.4 ^a <u>2ª Parte:</u> 42.3 ± 12.2 <u>Total:</u> 85.3 ± 19.5 <i>DL+CL:</i> <u>1ª Parte:</u> 52 ± 11.1 ^a <u>2ª Parte:</u> 46.3 ± 11.9 ^b <u>Total:</u> 98.3 ± 20.5	Diferencia significativa (p <0.05): ^a diferencia entre grupos (DC+CM+DEL)vs(D L+CL) ^b 1ª vs 2ª parte
Castagna <i>et al.</i> , 2017	Bundesliga Premier League Liga BBVA	ProZone 25- Hz	Ac: >3m·s ⁻² Des: > -3 m·s ⁻²	<i>Distancia (m)</i> <i>Ac:</i> 214.81 ± 55.9 <i>Des:</i> 209.3 ± 47.75		
Hoppe <i>et al.</i> , 2017	Bundesliga	GPS 10-Hz	Ac: >3m·s ⁻² Des: > -3 m·s ⁻²	<i>Tiempo (s)</i> <i>Ac:</i> Todos: 16 ± 2	<i>Tiempo (s)</i> <i>Des:</i> Todos: 15 ± 2	

DC+DL: 17 ± 2	DC+DL: 16 ± 1
CM+CL: 15 ± 1	CM+CL: 15 ± 2
DEL: 14 ± 1	DEL: 15 ± 2

Tabla 5. Resumen de los estudios que han analizado la aceleración y/o desaceleración durante partidos de fútbol (media \pm DE). Ac: aceleración; Des: desaceleración.

Por otro lado, Bradley *et al.* (2010) observaron que el número de aceleraciones $>2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ se mantenía constante a lo largo del partido, no existiendo diferencias entre ambas mitades ni entre los primeros y últimos 15 min del encuentro. Sin embargo, estos datos resultan contradictorios a los presentados por Akenhead *et al.* (2013), quienes sí encontraron una reducción en los parámetros de aceleración del 15-21% entre el inicio y final de partido ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). No obstante, estas diferencias deben de ser tomadas con precaución, ya que en ambos estudios se emplearon métodos diferentes de análisis (ProZone® vs GPS, respectivamente) (Russell *et al.*, 2014). En esta línea, Russell *et al.* (2014) tuvieron resultados similares a Akenhead *et al.* (2013), hallando diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la primera y la segunda mitad en el número de aceleraciones y desaceleraciones ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ y $>-3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, respectivamente) y entre los primeros y últimos 15 min de juego (tanto en aceleraciones como desaceleraciones). No obstante, habría que destacar que en este estudio no se apreciaron cambios entre ambas partes en la distancia recorrida a alta intensidad de carrera ($>19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). En base a estas observaciones, los autores reflejaron que la aceleración podría ser un indicador de fatiga más válido que la velocidad de carrera para la evaluación del rendimiento a lo largo de un encuentro (Akenhead *et al.*, 2013).

En cuanto al análisis de los perfiles de esfuerzo según el rol posicional en el campo, en los apartados anteriores, quedo reflejado como los DC y los CM realizaron un menor número de carreras a sprint que el resto de posiciones (Bradley *et al.*, 2009; Di Salvo *et al.*, 2010; Di Salvo *et al.*, 2009), posiblemente debido a la falta de espacio disponible para esos roles posicionales (Varley y Aughey, 2013). Sin embargo, cuando analizamos los datos de aceleración (tabla 5) del estudio de Varley y Aughey, el número de aceleraciones ($>2.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) fue homogéneo para todas las posiciones a excepción de los DL, quienes sí realizaron un elevado número de estas acciones. Los autores de este estudio argumentaron que, posiblemente, el trabajo asociado a esta posición puede explicar tales resultados, ya que se les exige tanto atacar como defender, teniendo, por tanto, que realizar carreras para cumplir sus tareas ofensivas como volver a otras zonas del campo para las acciones defensivas. En este sentido, otras investigaciones han encontrado diferencias entre 6-8% en la estimación de la carga de una actividad según se evalúe a través de la velocidad o aceleración (Gaudino *et al.*, 2013; Osgnach *et al.*, 2010; Russell *et al.*, 2014). Resultados similares fueron encontrados por Ingebrigtsen *et al.*

(2015), quienes mostraron como los jugadores de las zonas laterales aceleraron significativamente más que los jugadores de posiciones centrales durante la primera mitad. Sin embargo, no se encontraron diferencias durante la segunda parte o analizando el partido completo (tabla 5).

A día de hoy, los juegos reducidos (o small-sided games en la literatura científica) se presentan como actividades con un alto grado de especificidad al juego real, los cuales pueden ser condicionados por diversos factores (dimensiones, número de jugadores, duración, número de series, orientación del espacio, inclusión de porteros, reglas específicas...) para lograr determinados beneficios físicos, técnicos, tácticos y psicológicos (Hill-Haas, Dawson, Impellizzeri y Coutts, 2011). Varios estudios dirigidos al análisis de estos ejercicios han introducido la aceleración como la variable de control más relevante durante los entrenamientos con este tipo de tareas (Ade *et al.*, 2014; Castellano y Casamichana, 2013; Gaudino *et al.*, 2014bc; Hodgson *et al.*, 2014; Stevens *et al.*, 2016).

Asímismo, Castellano y Casamichana (2013) indicaron que cuando trabajamos este tipo de actividades con pocos jugadores y con reducidas dimensiones relativas por jugador, aumentaba la exigencia neuromuscular de los mismos. Es decir, mayores valores de aceleraciones y desaceleraciones en comparación a las exigencias de los partidos. Como referencia, Castellano y Casamichana (2016, p. 139) sitúan la mayor demanda de fuerza en juegos reducidos con <2 jugadores por equipo y con un espacio inferior a 50 m^2 por individuo. La orientación del espacio tiene también un rol importante en el diseño de este tipo de tareas, ya que tiene una influencia directa sobre el sistema neuromuscular, aumentando cuando la tarea está orientada (Casamichana *et al.*, 2012b; Castellano *et al.*, 2013; Castellano y Casamichana, 2016, p. 109). Por otro lado, Hodgson *et al.* (2014) encontraron que los esfuerzos de las superficies medianas y grandes eran más exigentes que los pequeños espacios en ejercicios de 5vs5 con porteros, con un área de 60, 120 y 200 m^2 por jugador. En esta investigación, los datos revelaron que esta modalidad de 5vs5 con un área de 120 m^2 por jugador puede proporcionar una elevada densidad de estímulos de aceleración superiores a las de un encuentro.

Similares resultados obtuvieron Gaudino *et al.* (2014bc) en comparación a Castellano y Casamichana (2016, p. 139), quienes vieron como el número total de

aceleraciones ($>2\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) fue superior cuanto menor era el espacio por jugador (75 m^2 , en el 5vs5 con portero; 73 m^2 , en el 5vs5 sin portero; 98 m^2 , en el 7vs7 con y sin portero; 135 m^2 , en el 10vs10 con y sin portero) (figura 15). Sin embargo, el pico máximo de aceleraciones y desaceleraciones fue más alto cuando dichas dimensiones fueron superiores (figura 16). En vista de estos resultados, y del análisis del propio juego, es lógico pensar que las dimensiones del campo y el desarrollo del juego condicionan en gran medida las características de las aceleraciones. Del mismo modo, es igual de razonable entender que estos valores también varían según las demarcaciones de los futbolistas durante un partido, ya que las opciones de espacio, áreas relativas por jugador según sus zonas de interacción y roles tácticos influye en gran medida el espacio y el tiempo para la realización de estos esfuerzos.

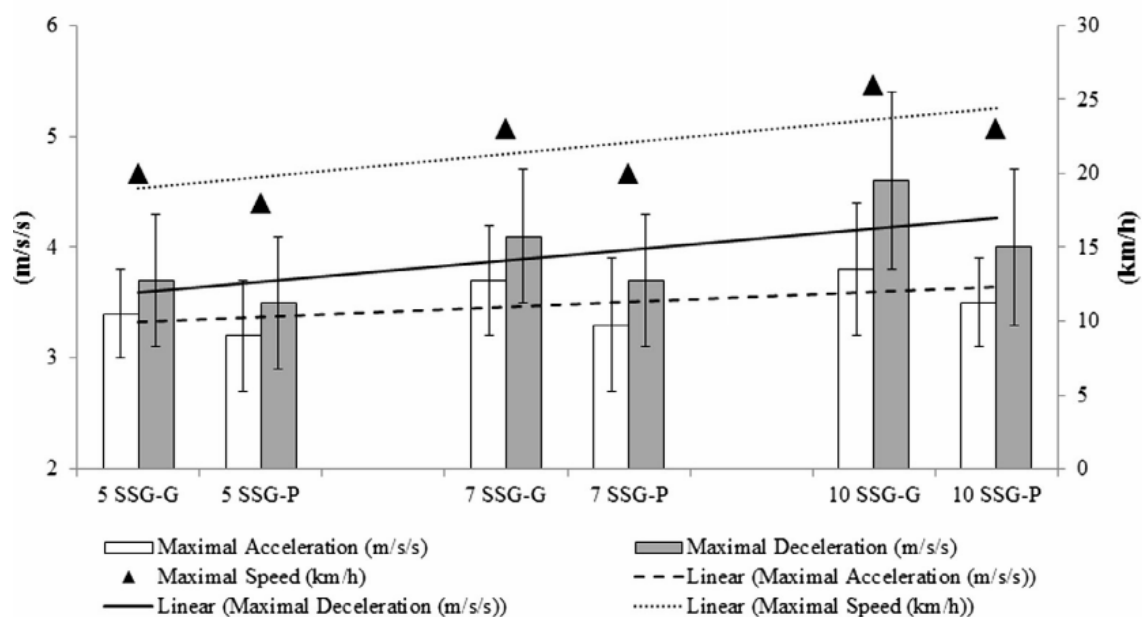


Figura 16. Aceleración máxima absoluta ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), máxima desaceleración ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) y máxima velocidad ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) durante 6 modelos diferentes de juegos reducido (Gaudino *et al.*, 2014a, p. 48; Gaudino *et al.*, 2014c).

Sin embargo, todos los trabajos publicados y citados hasta ahora han evaluado las aceleraciones durante partidos y entrenamientos empleando umbrales absolutos (tabla 5). Esta forma de análisis tiene dos grandes limitaciones que deberían de ser consideradas a la hora de estudiar los datos y sacar las conclusiones oportunas al respecto. Primero,

podrían subestimar o sobrestimar la intensidad de la aceleración, ya que son umbrales generales que pueden no adaptarse a la capacidad individual de acelerar de cada individuo. Al igual que sucedía con la velocidad, relativizar los valores a cada jugador y a su capacidad máxima permitiría un control más exacto de lo realmente acontecido (Jastrzbski y Radzimiski, 2015). Segundo, no consideran que la capacidad de acelerar es mayor cuando la carrera se inicia desde parado que desde a baja o alta velocidad (Bradley *et al.*, 2010; Sonderegger *et al.*, 2016). Cuando la aceleración se inicia a una velocidad de carrera media o moderada, la capacidad de acelerar será menor que desde parado, dificultando que el deportista alcance el valor del umbral establecido. Autores como Carling *et al.* afirmaron en 2008 que aún se desconocían (por aquel entonces) las características iniciales de las acciones que alcanzaban la velocidad de sprint.

Recientemente Sonderegger *et al.* (2016) diseñaron un modelo de regresión con el objetivo de estudiar la relación de la velocidad inicial y la aceleración máxima individual de cada uno. Este método se basa en la evaluación individual de la capacidad de acelerar de cada jugador en función a la velocidad inicial a la que comienza la aceleración. Para ello, realizaron una serie de pruebas que consistían en 4 aceleraciones máximas en una distancia de 50 m, la cual fue elegida para que fuera posible alcanzar la máxima velocidad de carrera (Buchheit *et al.*, 2012; Duthie, Pyne, Marsh y Hooper, 2006).

El primero de los sprints se realizó desde parado, mientras que el resto se iniciaron desde una velocidad inicial constante ($6.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $10.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $15.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente). Los sujetos recibían señales acústicas a través de las cuales debían recorrer sucesivas distancias de 5 m, delimitada con conos como referencia, para lograr mantener las velocidades citadas con anterioridad. Dicha velocidad constante fue mantenida entre 25 y 40 m hasta un punto determinado donde, tras una señal de silbato, el jugador debía acelerar al máximo posible. A partir de los resultados, los autores obtuvieron datos de la velocidad inicial (velocidad previa a la aceleración), máxima velocidad alcanzada y máxima aceleración voluntaria en para cada intensidad de carrera.

Una vez sacados los datos, establecieron una sencilla fórmula para conocer el porcentaje de aceleración de cada acción (ec 10):

$$\text{Porcentaje Aceleración} = \frac{\text{Aceleración máxima acción}}{\text{Aceleración máxima}} * 100$$

En la figura 17 podemos apreciar los registros de la velocidad inicial antes de la aceleración, la máxima velocidad alcanzada y la capacidad máxima voluntaria de acelerar según los resultados de este estudio. La gráfica muestra como, en función de la velocidad inicial, la capacidad máxima de acelerar varía, siendo mayor cuando el sujeto está parado y reduciéndose proporcionalmente cuando la velocidad inicial va aumentando.

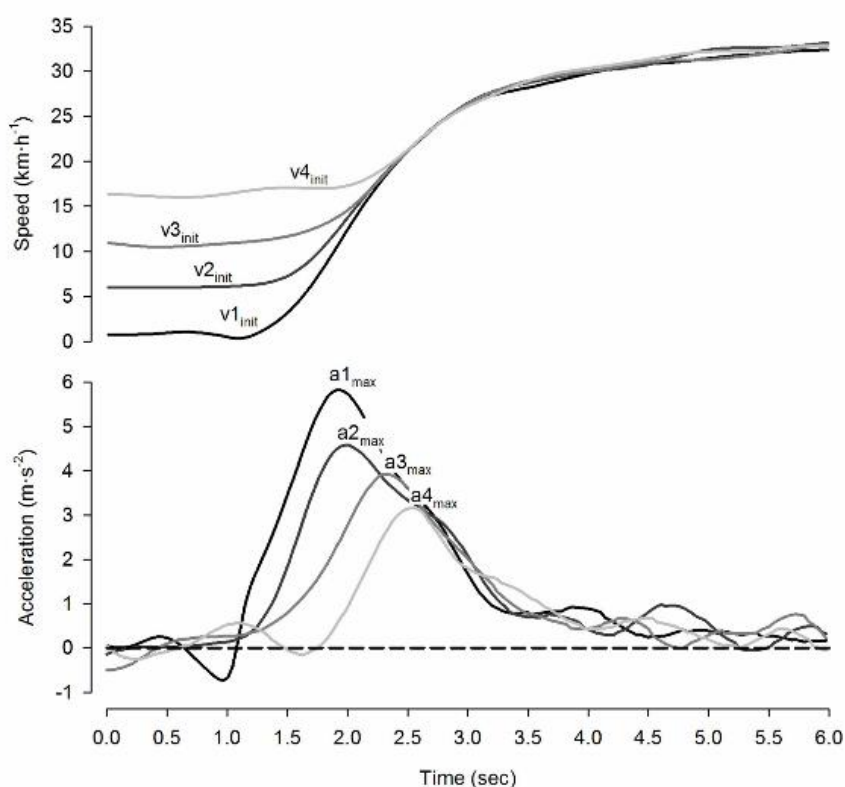


Figura 17. Curvas de velocidad (arriba) y aceleración (debajo) de los cuatro sprints realizados por un jugador, donde V_{init} representa la velocidad inicial previa a la aceleración, y a_{max} la máxima aceleración voluntaria respectivamente según la velocidad de inicio v_1 y a_1 desde parado, v_2 y a_2 desde 6.0 km·h⁻¹, v_3 y a_3 desde 10.8 km·h⁻¹, y v_4 y a_4 desde 15.0 km·h⁻¹. (Sonderegger *et al.*, 2016).

El efecto que tuvo la velocidad inicial sobre la capacidad máxima de acelerar fue muy significativo ($p < 0.0001$), observándose un tamaño del efecto (ES) muy grande (> 2) para las diferencias entre las aceleraciones máximas, de -3.5 entre parado y a $6.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, -2.5 entre $6.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y $10.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, y de -2.2 por encima de $10.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. La aceleración máxima se correlacionó significativamente con la velocidad inicial ($r = -0.98$) (figura 18). A partir de estos datos, la regresión lineal que surgió de los datos se puede ver representada en la ec 11:

$$\text{Aceleración máxima} = -0.23 * \text{Velocidad inicial} + 5.99$$

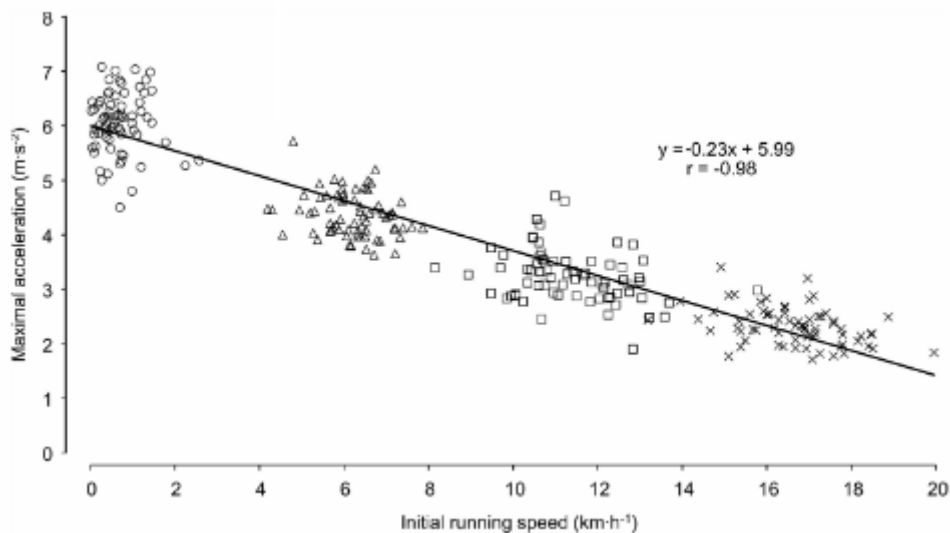


Figura 18. Máxima aceleración voluntaria (eje Y) y velocidad inicial de carrera previa a la aceleración (eje X). Modelo de regresión lineal simple con Ec de regresión y coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) (Sonderegger *et al.*, 2016).

A la vista de estos resultados, los autores de este trabajo resaltaron la importancia de considerar la velocidad de carrera previa a la aceleración cuando ésta es evaluada durante acciones cortas de alta intensidad. Por tanto, el uso de categorías absolutas para el estudio la intensidad de las aceleraciones debería de ser considerado y cuestionado, ya que no tiene en cuenta ni la velocidad inicial ni la capacidad individual del sujeto. Por ejemplo, cuando se usa un umbral de alta intensidad $> 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ para catalogar la acción de alta intensidad, este representa solo el 50% de la máxima aceleración voluntaria cuando

se inicia desde parado. Sin embargo, partiendo de una velocidad de $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, solo los sujetos jóvenes muy entrenados pueden lograr tal valor absoluto (Sonderegger *et al.*, 2016). A raíz de estos hallazgos, estos autores proponen una clasificación propia atendiendo al porcentaje de aceleración máxima para cada acción considerando la velocidad inicial: acciones de alta intensidad de aceleración ($>75\%$ de la aceleración máxima); moderadas intensidad de aceleración ($>50\%$ de la aceleración máxima); baja intensidad de aceleración ($>25\%$ de la aceleración máxima); y muy baja intensidad de aceleración ($\leq 25\%$ de la aceleración máxima). Siguiendo la ec 9, estos valores serían $>4.51 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ cuando se parte desde parado, $>3.25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ cuando la velocidad inicial es de $6.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $>2.40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ cuando se inicia desde $10.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $>1.72 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ cuando la velocidad inicial es de $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

En 2017, De Hoyo *et al.* fueron los primeros en usar el método de Sonderegger *et al.* (2016) para analizar los perfiles de aceleración de jugadores de élite en función de sus posiciones de juego. Estos investigadores registraron, mediante dispositivos GPS (15 Hz), 35 partidos de la liga española (La Liga BBVA), Copa del Rey, Supercopa de España, UEFA Champions League, UEFA Europa League y European SuperCup. En su estudio analizaron el porcentaje de aceleración en función al pico de aceleración registrado en la acción y la estimación de la máxima aceleración que podía ser lograda atendiendo a la velocidad inicial concreta (ec 10). Para conocer la estimación de la aceleración máxima según la velocidad inicial, emplearon la ecuación del modelo de regresión lineal sugerida por Sonderegger *et al.* (2016) (ec 11). Siguiendo con la propuesta de estos autores, consideraron las aceleraciones de alta intensidad aquellas que fueron $>75\%$ de la aceleración máxima. Además, analizaron esta variable en tres grupos según la velocidad inicial: S1 ($0\text{-}7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$); S2 ($7.1\text{-}14.3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y S3 ($\geq 14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Sus resultados mostraron como los DC realizaron substancialmente un mayor número de aceleraciones en S1 que en S2, mientras que los DEL y los CL realizaron substancialmente más aceleraciones comenzando en S3 que en S1 y S2. Los DL también realizaron de forma substancial un mayor número de aceleraciones a alta intensidad desde S1 y S3 en comparación a sus registros en S2. Por último, los CM realizaron una mayor cantidad de aceleraciones partiendo de S1 en comparación con S2 y S3, habiendo igualmente un mayor número de aceleraciones (substanciales) desde S3 que desde S2.

En cuanto al estudio y análisis de las posiciones de juego, los DEL, los CL y los DL realizaron sustancialmente un mayor número de aceleraciones a alta intensidad en comparación con los DC y los CM, consiguiendo estos últimos un mayor número (substancial) con respecto a los DC. Si tenemos en cuenta la diferencia entre las diferentes demarcaciones según la velocidad inicial previa a la aceleración, los DEL, los DL y los CM tuvieron registros más elevados respecto a los DC en S1. En S2, los CL realizaron una mayor cantidad de aceleraciones a alta intensidad que los DL. Por último, cuando la velocidad inicial fue $\geq 14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (S3), los DEL, CL y DL tuvieron mayores registros (substanciales) que los DC, realizando los DEL y los CL substancialmente una mayor cantidad de registros que los DL y los CM.

Los datos de este novedoso estudio nos aportan una información muy valiosa para el desarrollo de perfiles individuales adaptados a la demarcación de cada jugador, teniendo en cuenta la capacidad de acelerar en función de la velocidad inicial. Esta propuesta solventaría la problemática del uso de umbrales absolutos para valorar la aceleración en partidos y entrenamientos, ya que éstos no tenían en consideración que la capacidad máxima de acelerar difiere en función la velocidad inicial considerablemente. Por tanto, esta propuesta podría ser de gran utilidad para el diseño y desarrollo de programas de entrenamiento individualizado y adaptado a las necesidades de cada jugador.

A nuestro conocimiento, nadie más ha empleado esta forma de valoración teniendo en cuenta la capacidad individual de cada sujeto de acelerar al máximo considerando la velocidad inicial de la carrera, así como comparar las aceleraciones a alta intensidad entre la propuesta de Sonderegger *et al.* con la forma tradicional empleada hasta ahora usando umbrales absolutos. De igual modo, son necesarios estudios con grupos de población que requieren de un análisis específico como jugadores jóvenes o fútbol femenino.

2.3. Individualización de los umbrales de intensidad.

Si revisamos las características de los artículos publicados en los últimos años en lo referente a la categorización de las intensidades de los esfuerzos, podemos ver como la mayoría de ellos han empleado umbrales absolutos de velocidad previamente establecidos que van de 0 a 36 km·h⁻¹, no existiendo un criterio unificado en cuanto a la categorización de las franjas de velocidad, lo cual dificulta notablemente la comparación entre éstas (Cummins *et al.*, 2013; Drust *et al.*, 2007; Dwyer y Gabbett, 2012). Además, la elección de las zonas de intensidad o la metodología de estudio han sido seleccionadas por los autores del artículo en concreto, adaptándose a los objetivos de su investigación, lo cual puede tener un impacto en los perfiles individuales de actividad de los jugadores, ya que se pueden obviar determinadas actividades que pueden ser importantes. Contar con una metodología común y estándar para todas las investigaciones es un elemento crucial para la elaboración de teorías y leyes en nuestra materia (Drust *et al.*, 2007).

En este sentido, la literatura muestra una inconsistencia en cuanto a la velocidad a partir de la cual debe de ser considerada la máxima intensidad de carrera. Dellal *et al.* (2011) situaron este límite cuando el jugador alcanzaba más de 17 km·h⁻¹, mientras que Casamichana *et al.* (2013) lo ubicaron a 21 km·h⁻¹, el propio Dellal, Wong, Moalla y Chamari (2010) (en otro trabajo) lo ubicó en 24 km·h⁻¹, mientras que Mohr *et al.* (2003) llegaron, incluso, a valorar esta intensidad cuando la velocidad era superior a 30 km·h⁻¹. Si tenemos en cuenta que las velocidades máximas alcanzadas por futbolistas se sitúan entre 31-32 km·h⁻¹ (Haugen, Tonnessen, Hisdal y Seiler, 2014; Rampinini *et al.*, 2007ab), el rango que acabamos de indicar oscilaría entre el 53 y 94% de la máxima velocidad (Jastrzbesky y Radzimiski, 2015). Como es lógico, tales diferencias dificultan enormemente la comparación entre estudios.

La clasificación empleada para categorizar los esfuerzos es de gran importancia, ya que puede dictaminar la utilidad de los datos (Spencer *et al.*, 2005b). Si se utilizan pocas zonas de intensidad, puede que los resultados no proporcionen una información muy detallada. Por otro lado, si son demasiadas, puede dificultar la distinción entre diferentes actividades (Drust *et al.*, 2007). Con vistas al futuro, contar con un consenso en este aspecto podría suponer un gran avance para la comparación y contraste entre los diferentes estudios.

Otro aspecto importante a tener presente es que el uso de estos umbrales absolutos tiene una limitación importante que debería ser considerada. Al tratarse de umbrales estándares, no se adaptan a las particularidades de cada sujeto. Dicho esto, puede ser que un determinado jugador tenga una capacidad máxima (velocidad, VO₂, aceleración máxima, etc.) diferente a otros, por lo que una intensidad determinada podría representar una magnitud de esfuerzo muy diferente entre sujetos. Como consecuencia, las conclusiones de los resultados pueden generar confusión. Debido a las diferencias existentes entre diferentes niveles competitivos, edad de los jugadores y sexo, valorar a todos ellos bajo las mismas directrices puede llevar a una malinterpretación de los resultados. Este argumento se apoya en las afirmaciones de Abt y Lovell (2009), quienes sugirieron la necesidad de individualizar los umbrales de alta intensidad de carrera debido a las diferentes velocidades a las que los jugadores empiezan a correr en este tipo de acciones (según los umbrales que ellos emplearon). En línea con esta argumentación, varios investigadores han fundamentado el empleo de categorías individualizadas para la valoración de las exigencias de locomoción en fútbol, ya que éstas se adaptan mejor a las particularidades de cada sujeto (Carling *et al.*, 2016; Hunter *et al.*, 2015). Sin embargo, a pesar de la justificación fisiológica para el uso de umbrales individualizados, éstos no han sido ampliamente adoptados en el fútbol de alto nivel (Akenhead y Nassis, 2016).

En cuanto a la valoración de las exigencias del juego a través de los metros recorridos a una velocidad determinada, varios autores han tratado de individualizar estas intensidades a las capacidades personales de cada sujeto. En este sentido, algunos trabajos han determinado estos umbrales tomando como referencia los resultados de pruebas de velocidad de 40 m (Buchheit *et al.*, 2010a; Buchheit *et al.*, 2013a; Dwyer y Gabbett, 2012; Hunter *et al.*, 2015; Méndez-Villanueva *et al.*, 2013; Núñez-Sánchez *et al.*, 2017; Sparks *et al.*, 2017), de 10 m sprint (Harley *et al.*, 2010), en función a la velocidad aeróbica máxima (Buchheit *et al.*, 2010b; Carling *et al.*, 2016; Hunter *et al.*, 2015; Lovell y Abt, 2013) o según la velocidad en el segundo umbral ventilatorio en una prueba de esfuerzo (Abt y Lovell, 2009).

Una de estas propuestas fue llevada a cabo por Buchheit *et al.* (2010a), quienes emplearon umbrales individualizados para la velocidad de sprint basados en el pico máximo de velocidad alcanzado. Esta velocidad fue definida como el intervalo de 10 m que se realizó en el menor tiempo posible durante un sprint de 40 m con células

fotoeléctricas colocadas cada 10 m (Swift Performance Equipment, Lismore, Australia). Una vez conocido el valor máximo individual de cada sujeto, establecieron el umbral de sprint cuando la velocidad fue $>61\%$ (de la velocidad máxima). La elección de este porcentaje en concreto se debe a la consideración de ser la velocidad más alta que se puede alcanzar tras un segundo desde inicio en un sprint comenzado desde parado (Duthie *et al.*, 2006). En esta misma línea, Dwyer y Gabbet (2012) también emplearon un test de velocidad máxima (40 m) para elaborar tres zonas de intensidad en función al porcentaje del pico máximo de velocidad alcanzado: baja intensidad ($<34\%$), moderada intensidad ($34-61\%$) y alta intensidad ($>61\%$). Siguiendo esta propuesta, Buchheit *et al.* (2010a) encontraron que, cuando se empleaban umbrales absolutos de velocidad ($>19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), los jugadores de mayor edad tuvieron una mayor frecuencia de sprints repetidos que los más jóvenes. Sin embargo, cuando se basaron en los umbrales relativos a la velocidad máxima individual, los jóvenes realizaron más secuencias de sprints que los más veteranos.

Recientemente, Núñez-Sánchez *et al.* (2017) compararon las exigencias de carrera empleando umbrales absolutos y relativos, diferenciando por posiciones de juego, con dispositivos GPS durante partidos amistosos. Las 5 zonas de intensidad fueron de $0-7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $7-13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $13-18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $18-21 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y $>21 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los umbrales individuales se calcularon atendiendo a intervalos del 10% del pico máximo de velocidad obtenido en una prueba de 40 m. En base a sus resultados, estos autores destacaron la mayor especificidad de los umbrales individuales respecto a las posiciones de juego en todas las intensidades, abogando consecuentemente por su uso frente a categorías de intensidad absolutas estandarizadas.

En lo referente a la edad de los jugadores, Castellano *et al.* (2016) investigaron la influencia de diferentes formatos de ejercicios con alta participación de jugadores (7vs7, 9vs9 y 11vs11) y en espacios amplios (100, 200 y 300 m^2 por jugador) en futbolistas sub 12 y sub 13. Para ello, emplearon, entre otras variables, cinco categorías de umbrales absolutos ($0-3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $3-8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $8-13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $13-16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y $>16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y tres categorías de velocidad relativas al pico máximo de velocidad alcanzado en un test de 40 m sprint, siguiendo la propuesta de Buchheit *et al.* (2012) ($<39\%$, $40-60\%$ y $>61\%$ de la velocidad máxima). En sus resultados observaron una diferencia en la interpretación de las demandas del juego en función al uso de umbrales relativos o absolutos, recomendando, por tanto, el empleo de valores relativos a la capacidad máxima individual

para evaluar las exigencias del ejercicio, especialmente cuando se pretende comparar sujetos de diferente edad. No obstante, podemos entender que en la comparación entre diferentes grupos (distinto nivel competitivo, edad o sexo), el uso de categorías de intensidad adaptadas a las exigencias individuales de cada jugador puede representar una información de mayor validez, ya que se adapta a las particularidades de cada sujeto o grupo estudiado.

Otra propuesta de individualización de las categorías de velocidad fue llevada a cabo por Harley *et al.* (2010) en jóvenes jugadores (sub 12 a sub 16). Estos deportistas completaron varios sprints de 20 m con células fotoeléctricas situadas a los 10 y 20 m del inicio. El pico de velocidad del test (mejor registro de los últimos 10 m) de cada jugador fue utilizado para calcular la media grupal, siguiendo el modelo original propuesto por Barnes (2006) con futbolistas adultos. Para el establecimiento de los umbrales de intensidad, Harley *et al.* (2010) utilizaron la misma ratio en la propuesta original de Barnes (2006) en función a la media grupal del pico de velocidad para cada edad. De este modo, estos autores pudieron comparar las demandas de movimiento entre diferentes edades. La diferencia de este método respecto al citado antes por Buchheit *et al.* radica principalmente en la distancia del test de velocidad máxima. Harley *et al.* (2010) argumentaron que las distancias a sprint durante un partido rara vez exceden los 20 m (Carling *et al.*, 2008; Di Salvo *et al.*, 2007; Stolen *et al.*, 2005), por lo que se ajusta a las demandas reales del juego, además de mostrar una alta fiabilidad en sus resultados en jugadores de élite (Barnes, 2006).

Por otro lado, algunos estudios se han basado en variables fisiológicas para el establecimiento de los umbrales de alta intensidad. En concreto, Abt y Lovell (2009) y Lovell y Abt (2013) utilizaron la velocidad del segundo umbral ventilatorio para establecer la categoría de alta intensidad. Estos autores indicaron que tal umbral ventilatorio es una intensidad a la cual el deportista tiene problemas para mantener la intensidad del ejercicio. En este sentido, Abt y Lovell (2009), concluyeron que es necesario individualizar la categoría de alta intensidad debido a que la velocidad a la que los jugadores alcanzaron el segundo umbral ventilatorio ($>15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) fue diferente a la misma categoría de intensidad absoluta ofrecida por el sistema ProZone[®] ($>19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) ($p<0.01$). Como consecuencia, los resultados entre la distancia cubierta a alta intensidad según el umbral propuesto por ProZone[®] y el segundo umbral ventilatorio, calculado por

los autores, difirieron significativamente (845 ± 296 y 2258 ± 707 m, respectivamente; $p < 0.001$), subestimando por tanto la actividad a alta intensidad cuando se empleó tal umbral absoluto.

Otra propuesta para la estimación del umbral de alta intensidad y sprint, combinando ambos criterios de elección de umbrales relativos, fue llevada a cabo por Jastrzebski y Radzimiski (2015). Estos autores propusieron una categorización en función a la velocidad a la que se alcanzaba el umbral de lactato y la velocidad máxima alcanzada en un test de 40 m. Para ello, consideraron la intensidad de sprint cuando la velocidad de carrera superaba el 80% del pico máximo de velocidad alcanzado en el test. Para las carreras a alta intensidad, se estableció un rango de velocidad ubicado entre la velocidad a la cual se alcanzó el umbral de lactato y el 80% de la velocidad máxima alcanzada. Así, esta propuesta abarca tanto una variable mecánica o física como fisiológica. Además, estos autores establecieron cinco zonas de intensidad, donde las dos primeras eran independientes a los sujetos (parado y $< 7.2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) y la tercera, la franja restante, entre $7.2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y la categoría de alta intensidad, además de las dos categorías ya mencionadas.

Una vez comprendida la importancia de una individualización del análisis, así como las diferentes propuestas encontradas en la literatura, sería interesante la realización de estudios que se centraran en las características propias en poblaciones cultural o geográficamente diferentes, en fútbol femenino o en jóvenes jugadores, donde existe una falta de datos que se hayan centrado en sus particularidades concretas (Drust *et al.*, 2007).

2.3.1. Valoración de las demandas de movimiento en jóvenes futbolistas.

En las últimas décadas, la temprana identificación de jóvenes jugadores con potencial para llegar a convertirse en futbolistas profesionales ha sido uno de los objetivos de los clubes profesionales debido a los posibles beneficios económicos futuros (Buchheit *et al.*, 2010a; Ford *et al.*, 2012; Reilly, Williams, Nevill y Franks, 2000a). En 2010, el máximo organismo europeo de fútbol lanzó una nueva normativa a través de la cual era necesario un mínimo de jugadores crecidos o pertenecientes al club en el primer equipo

(UEFA, 2010). Dentro de las estrategias de captación por parte estas entidades, se encuentran los programas encaminados a desarrollar tanto las capacidades técnicas, tácticas como físicas, lo cual resulta esencial para la evolución del deportista. En este sentido, es fundamental conocer las exigencias a las que estos sujetos están sometidos durante la competición, atendiendo tanto a su edad como demarcación, ya que esto permitirá la creación de perfiles específicos, los cuales serán como pilares para un correcto diseño de programas encaminados a lograr desarrollar su máximo potencial (Arruda *et al.*, 2015).

A pesar de que el análisis de los patrones de movimiento durante partidos de fútbol ha crecido en interés en los últimos años como herramienta de cuantificación de las demandas físicas (Bradley *et al.*, 2010; De Hoyo *et al.*, 2017; Di Salvo *et al.*, 2009; Stroyer *et al.*, 2004), existe poca información sobre los futbolistas jóvenes durante partidos competitivos (Castagna *et al.*, 2003; Stroyer *et al.*, 2004). Además, estudios recientes han mostrado como el número de aceleraciones y desaceleraciones puede ser un factor discriminante entre futbolistas adultos y jóvenes (Vigh-Larsen *et al.*, 2017), por lo que no se deberían emplear los mismos requisitos de valoración.

Diversos autores han investigado la influencia del crecimiento y maduración en adolescentes sobre aspectos condicionales, encontrando una importante influencia en factores como la aceleración, velocidad máxima de carrera o la capacidad de repetir sprint (Méndez-Villanueva *et al.*, 2011a; Papaïakovou *et al.*, 2009). Papaïakovou *et al.* (2009) encontraron que la velocidad máxima mejora con el crecimiento, mientras que Méndez-Villanueva *et al.* (2011a) concluyeron, igualmente, que hay un efecto positivo de la edad sobre los factores que determinan la velocidad durante la maduración. Dichos factores tienen, según estos investigadores, una mayor relación con factores biológicos que con características antropométricas, al mismo tiempo que la aceleración y la velocidad comparten factores comunes en jóvenes futbolistas.

Mujika *et al.* (2009) estudiaron las diferencias en la capacidad de repetir acciones a velocidad de sprint entre jugadores diferentes edades (desde los 11 a los 18 años). Sus resultados mostraron cómo esta capacidad mejoró progresivamente con la edad desde los 11 a los 15 años. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los grupos de 15

a 18 años. Estos valores estuvieron fuertemente relacionados con las diferencias en la masa corporal y altura entre los grupos.

En vista de estos estudios analizados, si empleamos en este tipo de sujetos umbrales absolutos para valorar las exigencias de un partido o entrenamiento, los jugadores de mayor edad, o nivel de maduración superior, podrían lograr con menor dificultad alcanzar estos valores estándares que los más jóvenes, puesto que se les presupone una mayor capacidad máxima en velocidad y aceleración. En esta línea, Buchheit *et al.* (2010a) observaron como, cuando se empleaban umbrales absolutos de velocidad, los jugadores de más edad conseguían un mayor número de acciones repetidas de sprint que los más jóvenes, mientras que cuando se individualizaron los umbrales de velocidad ($>61\%$ de la velocidad máxima según los 10 m más rápidos en un test de 40 m), los resultados mostraron un número superior de este tipo de acciones para los jóvenes en comparación con los más veteranos. Estos mismos investigadores argumentaron que es fundamental conocer las demandas físicas a las que están sometidos los jóvenes futbolistas durante los partidos, teniendo en cuenta tanto su demarcación como su edad, para poder desarrollar un programa apropiado para el desarrollo óptimo de su potencial. No obstante, en algunos estudios se han empleado categorías de intensidad en función a la velocidad de carrera similares a las empleadas en adultos para la valoración de las demandas de movimiento en jóvenes (Castagna *et al.*, 2003; Castagna, Impellizzeri, Cecchini, Rampinini y Barbero-Álvarez, 2009). Por otro lado, para la valoración de las exigencias de aceleración, autores como Arruda *et al.* (2015) ubicaron el umbral para las aceleraciones de alta intensidad cuanto éstas eran $>1.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ en jóvenes, mientras que los valores empleados en adultos oscilan de 2.78 a $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (Ade *et al.*, 2014; Akenhead *et al.*, 2013; Bradley *et al.*, 2010; Castagna *et al.*, 2017; Hodgson *et al.*, 2014; Hoppe *et al.*, 2014; Osgnach *et al.*, 2010; Russell *et al.*, 2014; Varley y Aughey, 2013; Varley *et al.*, 2017b; Wehbe *et al.*, 2014).

No obstante, debido a la amplia gama de edad que se estudia en fútbol (desde pequeños hasta edades adultas, pasando por etapas de gran cambio como la adolescencia), habría que considerar la idea de adaptar las categorías de intensidad a cada una de ellas para que fueran evaluadas de una forma más precisa en función a la etapa de crecimiento en la que se encuentra el deportista. Algunos investigadores han destacado que los jóvenes jugadores no deberían ser tratados como adultos en “miniatura” debido a las remarcables

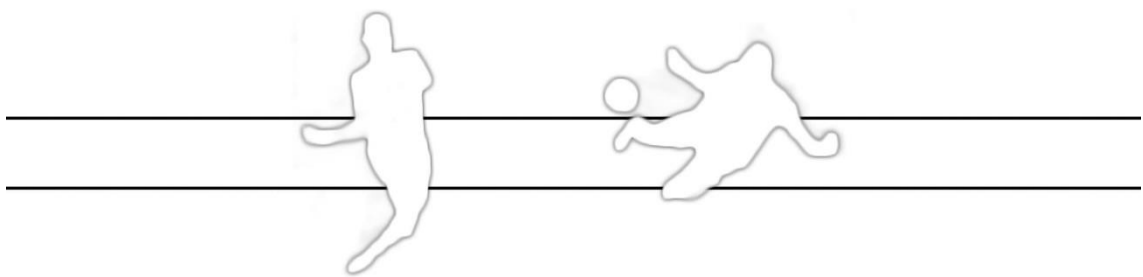
discrepancias entre las variables físicas y antropométricas (Reilly, Bangsbo y Franks, 2000b; Reilly *et al.*, 2000a). Las categorías empleadas y diseñadas para las etapas post pubertad y adultos pueden no ser lo suficientemente adecuadas para reflejar las demandas de competición y/o entrenamientos en jugadores preadolescentes debido a las diferencias y cambios tanto a nivel fisiológico, biomecánico y metabólico.

Comparando con adultos, los niños y jóvenes tienen una energía de reserva más baja entre su capacidad máxima y submáxima durante un ejercicio aeróbico, lo cual conlleva un CE mayor para una velocidad dada, trabajando con un porcentaje mayor de su capacidad máxima aeróbica (Cummins *et al.*, 2013). Estas diferencias fisiológicas durante el ejercicio se deben principalmente a tres factores. En primer lugar, los jóvenes poseen una economía de carrera más baja debida a la longitud de las piernas, siendo necesaria una frecuencia de zancada más elevada y una longitud más pequeña (Rowland, Auchinachie, Keenan y Green, 1987). Además, tienen una menor eficiencia mecánica (fuerza) y una menor eficiencia en la co-contracción de la musculatura antagonista donde hay una menor sincronización entre los grupos musculares implicados en el movimiento (Frost, Dowling, Dyson y Bar-Or, 1997). Sumado a esto, algunos investigadores han indicado que los niños tienen un desequilibrio entre el control corporal y la velocidad del movimiento, siendo menos efectivos a la hora de controlar su cuerpo cuando la velocidad del movimiento así lo requiere (Cummins *et al.*, 2013).

Por tanto, debido a las diferencias de las capacidades de rendimiento entre los jugadores de categorías juveniles y senior, sería inapropiado aplicar los umbrales comúnmente usados con adultos para valorar la actividad realizada por jóvenes (Harley *et al.*, 2010).

CAPÍTULO 3

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS



3.1. Estudio 1.

3.1.1. Hipótesis.

La hipótesis en la que nos basamos para el diseño de esta investigación fue la posibilidad de que determinadas posiciones de juego realizaran aceleraciones de gran magnitud en pequeñas distancias. Al no contar con el suficiente espacio para lograr una alta velocidad de carrera, estas acciones podrían ser consideradas como baja o media intensidad cuando en realidad son esfuerzos de gran magnitud. Dicho esto, esperábamos que la PM nos ofreciera diferencias a baja, media y alta intensidad comparadas con el método tradicional en función a la velocidad de carrera según las demarcaciones.

H₁: El uso de la PM aportará una información diferente al método tradicional (a través de la velocidad de carrera) en las diferentes intensidades en función a las posiciones de juego.

3.1.2. Objetivos.

Para la presente investigación, los objetivos se concretan en:

- a) Comparar los datos derivados de dos métodos de cuantificación de las demandas de movimiento como son la PM y la velocidad de carrera, en valores absolutos, según las demarcaciones de los jugadores.
- b) Comparar ambos métodos en diferentes categorías de intensidad en función a las posiciones de juego.

3.2. Estudio 2.

3.2.1. Hipótesis.

Basándonos en estudios previos, estábamos en la hipótesis de que encontraríamos diferencias substanciales entre las diferentes posiciones de juego si consideráramos tanto la velocidad inicial previa a la aceleración como la velocidad final alcanzada, atendiendo a un umbral individual en función de la capacidad máxima de acelerar de cada jugador.

H₂: El análisis de los perfiles de aceleración considerando la velocidad inicial y final de cada acción refleja diferencias entre los diferentes roles posicionales.

3.2.2. Objetivos.

Para este segundo estudio, el objetivo fundamental fue:

Analizar el número, el porcentaje de aceleración máxima y la distancia cubierta en las diferentes posiciones de juego, clasificándolas de acuerdo a un umbral individual basado en la máxima capacidad de acelerar.

3.3. Estudio 3.

3.3.1. Hipótesis.

En función de los estudios publicados previamente en la literatura científica, estábamos en la hipótesis de la existencia de diferencias en las demandas de aceleración

a alta intensidad, considerando tanto la velocidad inicial previa a la aceleración como la máxima capacidad individual de cada futbolista. Además, pensamos que los umbrales absolutos podrían inducir a un error en el análisis de esta variable al no considerar ni la velocidad previa ni la aceleración máxima de cada sujeto, subestimando aquellas que son iniciadas desde parado o a baja velocidad y sobreestimando aquellas que acontecen a media-alta velocidad de desplazamiento.

H3: El uso de umbrales individualizados a la capacidad máxima de aceleración de cada jugador a diferentes velocidades iniciales muestra diferencias en el número de aceleraciones de alta intensidad según las diferentes posiciones de juego.

H4: El uso de umbrales absolutos para análisis de los perfiles de aceleración subestima el número de aceleraciones iniciadas a baja velocidad y sobreestima las realizadas a una velocidad de carrera previa elevada.

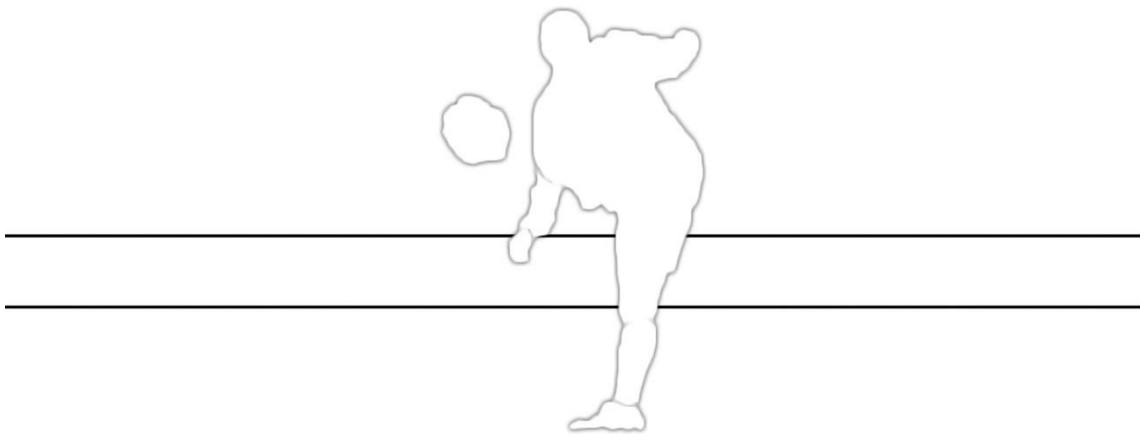
3.3.2. Objetivos.

En el caso del tercer estudio incluido en el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos:

- a) Analizar las características de las aceleraciones usando un umbral relativo individual a cada sujeto durante partidos oficiales en jóvenes jugadores de fútbol atendiendo a sus posiciones de juego.
- b) Comparar las diferencias existentes entre el uso de un umbral absoluto y un umbral relativo para la evaluación de las aceleraciones a alta intensidad.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO 1: The use of metabolic power to assess physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running?



4.1. Resumen (Abstract).

Objetivos: la PM y la velocidad de carrera forman parte de las 10 variables más usadas para cuantificar la demanda física durante partidos y entrenamientos en fútbol. Las propuestas de este estudio fueron 1) comparar la PM y el método tradicional usando la velocidad de carrera durante partidos de fútbol en valores absolutos y 2) en categorías de intensidad según las posiciones de juego.

Métodos: treinta y ocho jugadores profesionales de fútbol fueron analizados durante 18 partidos amistosos a lo largo de 4 pretemporadas ($n = 300$) y se dividieron en 5 grupos según sus posiciones: DC ($n = 64$), DL ($n = 55$), CM ($n = 58$), CL ($n = 70$) y DEL ($n = 53$). Se evaluaron los perfiles individuales para cada demarcación usando tanto la PM como el método a través de la velocidad de desplazamiento. La magnitud del cambio se consideró substancial cuando se encontraron valores de probabilidad iguales o superiores al 75%. El tamaño del efecto fue también calculado usando un intervalo de confianza del 90%.

Resultados: en valores absolutos, los CM y los CL consiguieron registros substancialmente superiores (*ES moderado*) con respecto al resto de demarcaciones, siendo los CM (*ES pequeño*) los que lograron las marcas más altas en ambos métodos de evaluación. Las posiciones de juego tuvieron una idéntica relación usando ambos enfoques de análisis. Atendiendo a las categorías de intensidad, a media-baja intensidad aparecieron diferencias entre ambos modelos. La demanda física para los DEL y los DC fueron más bajas usando el método tradicional (*ES moderado*). Sin embargo, estas demarcaciones tuvieron resultados más altos que el resto de grupos cuando se evaluaron usando la PM (*ES pequeño*). No se encontraron diferencias a baja, media o altas intensidades.

Conclusiones: La PM mostró diferencias a media-baja intensidad comparada con el enfoque tradicional de análisis a través de la velocidad de carrera entre las posiciones de juego. Sin embargo, no se encontraron diferencias en el resto de intensidades comparando ambos métodos en las diferentes demarcaciones de juego.

Palabras clave: Fútbol, Metabolismo, GPS.

Abstract.

Background: Metabolic power and speed running are in the top-10-ranked variables used to quantify the physical demand in soccer matches or training practices. The purposes of this study were 1) to compare metabolic power and the traditional approach using speed running during soccer matches in absolute values and 2) in zones of intensity in function of the playing positions.

Methods: Thirty-eight professional soccer players were analysed during 18 friendly matches from 4 preseasons ($n = 300$) and divided into 5 groups of playing positions: central defender ($n = 64$), wide defender ($n = 55$), central midfielder ($n = 58$), wide attacker ($n = 70$) and attacker ($n = 53$). The individual profiles to each playing positions were assessed using MP and speed running approaches. The magnitude of change was substantial when there was a $\geq 75\%$ likelihood of the effect. The effect size was also calculated using a confidence interval of 90%.

Results: In absolute values, central midfielders and wide attackers had substantially greater values than did the other positions, with central midfielders having the highest values in both approaches and an identical relationship between the positions in both approaches. In categories of intensity, medium-low intensity displayed differences between the approaches; the physical demands of attackers and central defenders were lower using the traditional approach but were higher than the other playing positions when assessed using MP. No differences were found at low, medium or high intensities.

Conclusions: The MP and energy expenditure reported differences at medium-low intensity compared to the speed running traditional approach between playing positions. However, the other intensities did not report differences compared to the traditional approach in the different playing positions.

Key Words: Football, Metabolism, GPS.

4.2. Materiales y Métodos.

4.2.1. Sujetos.

Se recogieron datos de 38 jugadores profesionales de fútbol (edad = 26.3 ± 3.9 años; altura = 180.0 ± 4.9 cm; peso = 77 ± 5.2 kg) de Primera División de Rumanía durante 18 partidos amistosos de pretemporada (4 pretemporadas entre 2013 y 2014). Estos datos fueron obtenidos de la monitorización rutinaria de las demandas físicas de los partidos. Por lo tanto, los requerimientos éticos por parte del comité habitual no fueron necesarios (Winter y Maughan, 2009). Un total de 300 registros individuales de partidos fueron recopilados ($n = 300$), excluyendo datos de porteros y jugadores lesionados o en proceso de rehabilitación. Se analizaron periodos de 45 min durante cada encuentro (media parte), excluyendo los registros de los futbolistas que jugaron menos de medio tiempo (el número de registros individuales fue de 2 a 18). Todos los participantes se dividieron en 5 grupos de acuerdo a sus posiciones: DC ($n = 64$), DL ($n = 55$), CM ($n = 58$), CL ($n = 70$) y DEL ($n = 53$), actuando cada uno en su posición habitual. Se garantizó la confidencialidad del equipo y jugadores y el estudio siguió el Código de Ética de la World Medical Association (Declaración de Helsinki).

4.2.2. Procedimientos.

4.2.2.1. Recogida y análisis de datos.

Se utilizaron dispositivos portátiles de GPS (GPSports SPI PRO X II, Canberra, Australia) de 15 Hz para determinar el rendimiento físico de los partidos. La validez y fiabilidad de este modelo fueron evaluadas con respecto a la distancia recorrida, las diferentes velocidades de carrera y actividades específicas de fútbol. Los GPS de 15 Hz demostraron ser más fiables para las mediciones de las demandas de movimientos que los dispositivos de 1 o 5 Hz (Johnston *et al.*, 2014; Portas, Harley, Barnes y Rush, 2010;

Varley *et al.*, 2012; Waldron, Worsfold, Twist y Lamb, 2011). Las unidades fueron activadas antes del calentamiento (más de 20 min antes del comienzo del encuentro), lo cual permitió la adquisición de las señales de los satélites (Duffield *et al.*, 2010; Gaudino *et al.*, 2013). Todos los futbolistas dispusieron de sus propios dispositivos personales, los cuales se colocaron en la parte posterior de la columna vertebral (región dorsal) dentro de un arnés especial provisto por la compañía de GPS.

4.2.2.2. Factores determinantes del rendimiento físico.

El rendimiento físico se evaluó en función de la distancia cubierta en metros por minuto y la potencia promedio en $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$. La PM se consiguió multiplicando el CE por la velocidad de carrera (V) (ec 7: $\text{PM} = \text{CE} \cdot V$). El CE a una velocidad constante corriendo en una pendiente ascendente fue descrito por Minetti *et al.* (2002) como (ec 5):

$$\text{CE} = (155.4i^5 - 30.4i^4 - 43.3i^3 + 46.3i^2 + 19.5i + 3.6)$$

Donde i es la pendiente del terreno [$i = \tan(90 - \alpha)$], siendo α el ángulo. Por tanto, el CE de carrera acelerada se puede calcular multiplicando por el EM (ec 6):

$$\text{CE} = (155.4i^5 - 30.4i^4 - 43.3i^3 + 46.3i^2 + 19.5i + 3.6) \cdot \text{EM}$$

En el que el EM es $[(a_f^2 / g^2) + 1]^{0.5}$ (ec 4), siendo a_f la aceleración hacia delante y g la aceleración de la gravedad de la Tierra (Gaudino *et al.*, 2013; Gaudino *et al.*, 2014b; Osgnach *et al.*, 2010).

La velocidad se dividió en seis categorías para identificar la distancia cubierta en cada intensidad: andando (A) (0.1 a $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), carrera suave (CS) (8.1 a $13 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), carrera a moderada velocidad (CMV) (13.1 a $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), carrera a velocidad intermedia (CVI) (16.1 a $19 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), carrera a alta velocidad (CAV) (19.1 a $22 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) y sprint (S) ($>22.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). La PM se dividió igualmente en seis categorías: muy baja potencia metabólica (MBP) (0.1 a $5 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$), baja potencia metabólica (BP) (5.1 a $10 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$),

potencia metabólica intermedia (PI) (10.1 a $20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$), alta potencia metabólica (AP) (20.1 a $35 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$), elevada potencia metabólica (EP) (35.1 a $55 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) y la intensidad de máxima de potencia metabólica (IMP) ($> 55.1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Manzi *et al.*, 2014; Osgnach *et al.*, 2010). No obstante, para comparar ambos métodos de análisis a diferentes intensidades (6vs6), se creó otra categoría de PM. La primera zona de intensidad de Osgnach entre 0 y $10 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ se dividió en dos niveles MBP y BP para conseguir una categoría más. Bradley *et al.* (2010) encontraron en jugadores de élite que la aceleración era más grande cuando éstos esprintaban hasta máxima velocidad desde cualquier categoría de baja intensidad de carrera (de pie, caminando o trotar) en comparación a cuando esprintaban desde una velocidad de carrera intermedia o a alta velocidad ($p<0.01$). Por ello, pensamos que sería más interesante saber qué ocurre en las categorías de baja intensidad, donde una baja velocidad de carrera puede ser registrada y considerada de baja intensidad, aunque ésta pueda involucrar una gran aceleración/desaceleración en una pequeña distancia, lo cual podría considerarse un esfuerzo de mayor magnitud.

La distancia total por minuto y la distancia recorrida a diferentes intensidades de velocidad fueron descargadas por el software Team AMS (Canberra, Australia) de la misma firma de GPS empleada para el estudio (GPSports SPI PRO X II). Las distancias realizadas en las diferentes categorías de PM se calcularon utilizando una hoja de cálculo Excel personalizada, empleando las ecuaciones mencionadas en la sección anterior utilizando los datos del tiempo y la velocidad instantánea obtenidos del software.

4.2.3. Análisis estadístico.

Los resultados se presentan como media \pm DE. La comparación entre las posiciones de juego se realizó mediante el análisis de magnitudes basadas en inferencias (Hopkins, 2007). El nivel de confianza que se utilizó fue del 90% y todas las variables fueron transformadas logarítmicamente con el objetivo de disminuir el error de sesgo debido a la falta de uniformidad. La magnitud del cambio se consideró substancial cuando hubo una probabilidad $\geq 75\%$ de que el efecto sea igual o mayor que el mínimo cambio apreciable, estimado como el producto de 0.2 por la DE de los sujetos (Batterham y

Hopkins, 2006; Hopkins, 2004). El tamaño del efecto d de Cohen (ES) también se calculó usando un intervalo de confianza del 90%. Los umbrales aplicados para el ES se basaron en la propuesta de Cohen (1988, p. 24-26): trivial (0.0 - 0.19), pequeño (0.2 - 0.59), moderado (0.6-1.1), grande (1.2 - 1.9) y muy grande (>2.0) (Batterham y Hopkins, 2006; Hopkins, Marshall, Batterham y Hanin, 2009).

4.3. Resultados.

4.3.1. Distancia cubierta por minuto y potencia metabólica.

La tabla 6 muestra el promedio de la PM y de las distancias cubiertas por los jugadores según sus posiciones de juego. Para los valores de PM, los CM obtuvieron sustancialmente el mayor resultado, seguidos por los CL (*ES pequeño; % probabilidad 77/22/0*), DC, DL y DEL; donde los CL lograron un promedio de PM mayor que los DC (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*). En cuanto a la distancia por minuto, los CM corrieron sustancialmente más metros que los CL (*ES pequeño; % probabilidad 91/9/0*), seguidos por los DC, DL y DEL, respectivamente; donde los CL cubrieron más metros que los DC (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*).

	Total (N = 300)	DC (n = 64)	DL (n = 55)	CM (n = 58)	CL (n = 70)	DEL (n = 53)	Follow-Up Test
W·kg⁻¹	10.2 ± 1.1	9.8 ± 0.7	9.8 ± 0.8	11.0 ± 0.8	10.7 ± 1.1	9.7 ± 1.0	(CM>CL)>DC=DL=DEL
m/min	110.7 ± 10.9	105.8 ± 7.4	105.8 ± 8.3	119.7 ± 8.19	115.6 ± 10.8	105.2 ± 10.2	(CM>CL)>DC=DL=DEL

Tabla 6. PM (promedio Vatios·kg⁻¹) y distancia cubierta (m/min) (media ± DE) por posiciones de juego.

4.3.2. Distancia recorrida en categorías de velocidad de carrera según la posición de juego.

La tabla 7 muestra los resultados de todas las categorías de velocidad diferenciadas por posiciones de juego según el método de evaluación a través de velocidad de carrera. En la categoría A, no hubo diferencias substanciales entre los CL y los CM, aunque ambas posiciones registraron valores inferiores a los demás, recorriendo los CL menos distancia que los DC (*ES moderado; % probabilidad 99/1/0*). En CS, los CM corrieron mucho más que sus compañeros de equipo. Los CM abarcaron más metros que los CL (*ES pequeño; % probabilidad 97/3/0*) y los DEL (*ES grande; % probabilidad 100/0/0*), mientras que los DC cubrieron una mayor distancia que los DEL (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*). En CMV, los CM lograron los resultados más altos, siendo sustancialmente mayores que el de los CL (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*), y ambas posiciones tuvieron unos valores más elevados que el resto de demarcaciones; cubriendo los CL más distancia que los DC (*ES pequeño; % probabilidad 94/6/0*). En CVI, los CM lograron nuevamente los mejores registros comparados con las otras posiciones de juego, siendo estos más altos que los CL (*ES pequeño; % probabilidad 96/4/0*). Además, los CL tuvieron valores superiores a los DL (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*). En la categoría CAV, los CL y los CM registraron valores sustancialmente mayores que los DEL y los DC, donde los CM corrieron más metros que los DEL (*ES pequeño; % probabilidad 92/8/0*). No se encontraron diferencias substanciales entre DL y CL. Los DL tuvieron los resultados más bajos en esta categoría, tendiendo diferencias sustanciales en comparación con todas de las otras posiciones de juego, teniendo diferencias con DC (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*). En la categoría de S, los DL y los CL cubrieron más metros que las otras posiciones, realizando los DL una mayor distancia que los DEL (*ES pequeño; % probabilidad 94/6/0*), mientras que éstos (DEL) cubrieron una mayor distancia que los DC (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*). Por su parte, los DC realizaron más metros que los CM (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*).

	Total (n = 300)	DC (n = 64)	DL (n = 55)	CM (n = 58)	CL (n = 70)	DEL (n = 53)	Follow-Up Test
Andando 0-8 km·h⁻¹	1954.6 ± 215.9	1996.4 ± 150.1	2006.6 ± 230.4	1846.0 ± 184.7	1885.2 ± 207.5	2060.7 ± 234.2	(DL=DEL> DC)>(CL=CM)
Carrera suave 8.1-13 km·h⁻¹	1470.0 ± 343.0	1482.4 ± 201.8	1245.6 ± 225.8	1739.9 ± 308.2	1549.0 ± 385.2	1288.4 ± 311.1	CM>(CL=DC)>(DEL=DL)
Carrera a moderada velocidad 13.1-16 km·h⁻¹	669.3 ± 201.0	633.7 ± 174.8	559.9 ± 129.3	830.0 ± 170.8	714.6 ± 164.7	590.2 ± 240.3	(CM>CL)>(DEL=DC>DL)
Carrera velocidad intermedia 16.1-19 km·h⁻¹	360.9 ± 114.7	308.8 ± 71.0	322.5 ± 82.0	460.1 ± 112.4	399.8 ± 121.0	303.5 ± 89.3	CM>CL>DL=DC=DEL
Carrera alta velocidad 19.1- 22 km·h⁻¹	197.0 ± 69.2	152.0 ± 51.9	204.9 ± 59.3	216.4 ± 68.6	223.7 ± 79.5	186.8 ± 55.3	(CL=CM)>DEL>DC; CL=CM=DL; (DL=DEL)>DC
Sprint >22.1 km·h⁻¹	154.4 ± 86.3	113.0 ± 56.8	202.7 ± 100.3	112.8 ± 53.3	184.8 ± 97.5	159.4 ± 70.8	(DL=CL)>DEL>(DC=CM)

Tabla 7. Distancia cubierta (m) (media ± DE) en las diferentes categorías de intensidad en función a la velocidad de carrera y en relación a las posiciones de juego.

4.3.3. Distancia cubierta en categorías de potencia metabólica según la posición de juego.

La tabla 8 muestra los resultados de todas las categorías de PM diferenciando por posiciones de juego. A MBP, los CL cubrieron una distancia substancialmente mayor que los CM (*ES moderado; % probabilidad 99/1/0*). Sin embargo, ambos corrieron menos que las otras posiciones (DC tuvieron valores superiores a los CL, con un (*ES pequeño; % probabilidad 95/5/0*). Por otro lado, a BP, los DEL y los DC hicieron sustancialmente una mayor distancia que los CM y los CL, quienes obtuvieron los resultados más bajos. Además, los DEL recorrieron más metros que los CM (*ES pequeño; % probabilidad 96/4/0*) y los CL (*ES pequeño; % probabilidad 96/4/0*). A esta intensidad, los DC corrieron más que los CM (*ES pequeño; % probabilidad 85/15/0*). En la categoría de PI, los CM tuvieron mejores resultados que los CL (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*), los CL consiguieron resultados sustancialmente más altos que los DC (*ES pequeño; % probabilidad 89/11/0*) y los DC tuvieron mejores valores que los DEL (*ES pequeño; % probabilidad 94/6/0*) y los CL (*ES moderado; % probabilidad 89/11/0*). A AP, los CM lograron resultados sustancialmente más altos que los CL (*ES pequeño; % probabilidad 91/9/0*) y ambas posiciones consiguieron, al mismo tiempo, unos registros más altos que el resto; siendo los CL mayores sustancialmente que los DL (*ES moderado; % probabilidad 100/0/0*). En la categoría de EP, los CL, los CM y los DL tuvieron diferencias sustanciales en comparación con los DEL y los DC, mientras que los DL realizaron más distancia que los DEL (*pequeño ES; % probabilidad 89/11/0*). En los resultados en la categoría IMP, los CL y los DL consiguieron sustancialmente resultados más elevados en comparación con las otras categorías, siendo los DL más altos que los DEL (*ES pequeño; % probabilidad 83/16/0*). A esta intensidad no se encontraron diferencias entre los DEL, los CM y los DC.

	Total (n = 300)	DC (n = 64)	DL (n = 55)	CM (n = 58)	CL (n = 70)	DEL (n = 53)	Follow-Up Test
Muy baja potencia 0-5 W·kg⁻¹	479.9 ± 83.5	501.2 ± 62.4	505.8 ± 80.7	417.6 ± 57.7	464.4 ± 85.1	516.3 ± 89.8	(DEL=DL=DC)>CL>CM
Baja potencia 5-10 W·kg⁻¹	1507.5 ± 172.7	1527.4 ± 131.7	1515.4 ± 200.9	1475.3 ± 137.0	1466.2 ± 185.5	1565.3 ± 187.0	(DE =DC)>(CM=CL);DEL=DC=DL; DL=CM=CL
Potencia intermedia 10-20 W·kg⁻¹	1643.0 ± 356.0	1610.2 ± 233.2	1411.3 ± 226.7	1959.5 ± 332.2	1730.7 ± 337.5	1460.8 ± 350.8	CM>CL>DC>(DEL=DL)
Alta potencia 20-35 W·kg⁻¹	813.7 ± 194.9	728.9 ± 114.1	732.2 ± 140.9	979.1 ± 173.5	896.7 ± 203.3	709.7 ± 165.6	CM>CL>DL=DC=DEL
Elevada potencia 35-55 W·kg⁻¹	252.0 ± 65.8	221.6 ± 50.7	257.8 ± 67.9	271.9 ± 52.4	274.9 ± 77.7	230.8 ± 56.5	(CL=CM=DL)>(DEL=DC)
Intensidad de maxima potencia 55-90 W·kg⁻¹	106.2 ± 36.4	94.6 ± 28.4	115.2 ± 34.7	98.3 ± 28.6	119.3 ± 46.5	102.2 ± 32.0	(CL=DL)>(DEL=CM=DC)

Tabla 8. Distancia cubierta (m) (media ± DE) en las diferentes categorías de intensidad en función a la PM y en relación a las posiciones de juego.

4.4. Discusión.

Recientemente, Osgnach *et al.* (2010) aplicaron un nuevo enfoque de análisis en fútbol, el cual emplea una serie de algoritmos para estimar el CE y la PM basados en una propuesta de Di Prampero *et al.* (2005). Siguiendo este modelo, algunos autores han usado la PM y los métodos tradicionales de análisis (a través de la velocidad de carrera) en sus investigaciones, llegando a la conclusión de que la velocidad de carrera subestima, particularmente a altas intensidades, o sobreestima, a bajas intensidades, el grado de esfuerzo realizado, por lo que el uso de la PM es más válido para evaluar las demandas de movimiento (Gaudino *et al.*, 2013; Gaudino *et al.*, 2014b). De acuerdo con esto, los objetivos de este estudio fueron comparar ambos métodos de análisis de las exigencias de desplazamiento durante partidos de fútbol (la intensidad de la velocidad de carrera y PM), usando valores absolutos y en diferentes categorías de intensidad, atendiendo a las posiciones de juego. Nuestros resultados no identificaron diferencias entre ambas propuestas a intensidades altas, medias y bajas en las diferentes demarcaciones. En cambio, sí se apreciaron pequeñas diferencias entre las demandas físicas de ambos modelos a media-baja intensidad diferenciando por demarcación, siendo los DEL y los DC quienes cubrieron más metros y los CM y los CL quienes recorrieron una menor distancia según el enfoque de la PM. En cambio, si nos basamos en el enfoque de velocidad de carrera, estos resultados fueron inversos. Atendiendo a nuestros resultados, los valores de PM no aportaron información diferente a la velocidad de desplazamiento (particularmente a alta intensidad).

Actualmente, según nuestro conocimiento, no existen muchos trabajos que hayan empleado la PM para evaluar las demandas físicas en fútbol, especialmente en partidos. Así, si comparamos los resultados entre las posiciones de juego, es posible ver como a baja intensidad, la relación entre los CM, los DEL y los DC fue diferente en función de la forma de análisis empleada. Usando el método la velocidad de carrera, los CM mostraron una distancia recorrida sustancialmente superior a los DEL (*ES: 1.45*) y los DC (*ES: 0.98*) a la intensidad de CS. Por otro lado, usando la PM, a baja intensidad (BP), los DEL (*ES: 0.54*) y los DC (*ES: 0.38*) corrieron sustancialmente más que los CM. Esta diferencia podría explicarse siguiendo las aportaciones de Bradley *et al.* (2010), quienes

encontraron que la aceleración era más alta cuando los jugadores de élite se movían desde cualquier intensidad baja (parado, caminando o trotando) hasta velocidades altas o sprint en comparación con aquellos que comenzaban a una velocidad de carrera más elevada. Esto podría ocurrir debido a que estas posiciones (DC y DEL) generalmente mantienen una baja intensidad cuando no están directamente involucrados en la acción de juego. Sin embargo, cuando deben intervenir, alcanzan la máxima intensidad en una distancia corta como resultado de una fuerte aceleración o desaceleración, pero sin lograr una alta velocidad. Con vistas al futuro, sería interesante mejorar la comprensión del perfil de actividad de estas dos posiciones, las cuales han sido consideradas menos activas a esta intensidad que el resto, posiblemente debido a que las demandas de las aceleraciones y las desaceleraciones no se incluyeron en el análisis. Entre 20 y 35 W·kg⁻¹ (AP), los CM cubrieron sustancialmente más distancia que las demás demarcaciones, siendo estos valores similares a los resultados de Gaudino *et al.* (2013). Estos autores encontraron que los CM abarcaron significativamente una mayor distancia que los DC. No obstante, estos autores no encontraron diferencias en comparación a las otras posiciones de juego en las categorías de EP e IMP. Sin embargo, en nuestros resultados, sí encontramos diferencias sustanciales entre los CM y los CL, realizando ambas posiciones más metros que el resto de grupos a AP y a EP. En la categoría de IMP, los CL y los DL lograron nuevamente los valores más altos del equipo, lo cual podría explicarse debido a las características del entrenamiento aplicadas en el trabajo de Gaudino *et al.* (2013). En este sentido, algunos investigadores han informado de que las cargas de trabajo a alta intensidad durante los entrenamientos son menores que las de un partido debido a las limitaciones del espacio en los ejercicios aplicados (juegos reducidos) (Casamichana *et al.*, 2012a; Dawson, Hopkinson, Appleby, Stewart y Roberts, 2004).

En cuanto a las diferentes categorías de intensidad, si comparamos entre ambos modelos de análisis, no se encontraron diferencias sustanciales en la relación entre las posiciones de juego usando km·h⁻¹ o W·kg⁻¹. Solo se aparecieron pequeñas diferencias entre las categorías de BP y CS, donde los CM y los CL lograron los mejores resultados en km·h⁻¹ y los resultados más bajos en W·kg⁻¹. En este sentido, la relación entre posiciones de juego fue investigada por Di Salvo *et al.* (2007) usando categorías de intensidad en km·h⁻¹. En este estudio, los CL corrieron una distancia significativamente mayor que el resto de demarcaciones, siendo los DC quienes obtuvieron los resultados más bajos. En la categoría de intensidad máxima de carrera (>23 km·h⁻¹), los CM y los

DC registraron los resultados más bajos. Aunque nuestra categoría máxima fue $>22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, la relación entre las posiciones de juego en las dos zonas máximas de velocidad fue similar a los resultados de Di Salvo *et al.* (2007). Si bien estos autores encontraron valores más elevados en la demanda de desplazamiento durante partidos, la relación de la carga de trabajo entre las diferentes demarcaciones fue muy similar a nuestro trabajo a alta intensidad. Por el contrario, Gregson *et al.* (2010) informaron que los CL y los DEL corrieron una menor distancia que las otras posiciones a una intensidad $>19.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. No obstante, en nuestro caso, encontramos que, en la categoría de CAV, los AT y los DC cubrieron sustancialmente menos metros que el resto de grupos mientras que los CL fueron los que hicieron la mayor cantidad de metros. Las diferencias encontradas en nuestro estudio entre la PM y la velocidad de carrera podrían explicarse debido a que, aunque los CM y los CL corren más metros a esta intensidad (CS) en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, estos desplazamientos son realizados a una velocidad más constante y sin fuertes fluctuaciones de velocidad en comparación con las otras posiciones, los cuales aceleran y desaceleran más frecuentemente a esta intensidad en $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$. En consecuencia, los CM y CL tienen mayores valores en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ en comparación con las otras demarcaciones, pero menores valores de $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Para comparar ambos métodos de análisis a diferentes intensidades, es necesario un punto de referencia. En este sentido, sabemos que la PM a la velocidad constante de $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ se corresponde a $20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Castagna *et al.*, 2017; Di Prampero, Botter y Osgnach, 2015; Osgnach *et al.*, 2010). Como ya se comentó con anterioridad, para igualar el número de categorías, la intensidad más baja de PM fue dividida en dos, permitiendo hacer comparaciones entre las diferentes categorías en cada enfoque (6vs6). Los resultados mostrados en las tablas 7 y 8 muestran las diferencias entre las posiciones de juego en función de la distancia recorrida en las diferentes categorías de intensidad tanto en velocidad de carrera como en PM. En todas las categorías, a excepción de CS y BP, los resultados son bastante similares (e idéntico en muchos casos) entre los dos métodos. Únicamente se pueden apreciar dos excepciones entre las demarcaciones. En BP los DEL y DC cubrieron la mayor distancia mientras que los CM y CL fueron los que realizaron la menor cantidad de metros. Sin embargo, en la categoría de CS, los CM y CL tuvieron los mejores registros. Esta diferencia podría deberse a que cuando los jugadores de fútbol aceleran o desaceleran, la velocidad alcanzada y registrada por el GPS durante este breve instante, o corta distancia, sería pequeña, aunque la aceleración podría ser grande o

máxima. Actualmente, a nuestro entender, no se ha realizado una comparación entre ambos métodos en la literatura a baja intensidad. Sin embargo, a gran velocidad, la capacidad de acelerar y desacelerar es menor que a baja velocidad (Sonderegger *et al.*, 2016). Por lo tanto, es razonable no identificar las diferencias entre las distancias cubiertas para las distintas posiciones de juego y por tanto se mantendrá la misma relación entre ellos cuando la velocidad incremente.

Los resultados publicados por Castagna *et al.* (2017) están en concordancia con nuestro estudio, ya que no se encontraron diferencias en términos relativos entre ambos enfoques a alta intensidad en función a las posiciones de juego. Por su parte, Gaudino *et al.* (2014b) utilizaron la distancia recorrida $>14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y $>20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ para comparar ambos enfoques en diferentes juegos reducidos (5vs5, 7vs7 y 10vs10) y con diferentes áreas por jugador (75, 98 y 135 m^2). La magnitud del cambio entre los metros cubiertos basados en la velocidad de carrera y en la PM fue mayor (favorable a la PM) cuando la relación del tamaño por jugador era más pequeña (196, 99, y 55% para el 5vs5, 7vs7 y 10vs10, respectivamente. $p<0.001$). Tales resultados apoyarían nuestros argumentos mencionados anteriormente. Cuando la relación entre jugadores y área de juego fue superior, la diferencia entre ambos métodos fue menor y lo inverso sucedió cuando la relación era más pequeña (Gaudino *et al.*, 2014b). Si la PM considera las aceleraciones y las desaceleraciones, como autores como Osgnach o Gaudino (Gaudino *et al.*, 2013; Gaudino *et al.*, 2014b; Osgnach *et al.*, 2010) han argumentado antes, sería interesante evaluar qué ocurriría en distancias más cortas y qué relación hay con los resultados obtenidos a través del análisis en función a la velocidad de carrera, donde se podría subestimar el CE asociado con la aceleración y la desaceleración cuando se utiliza el análisis movimiento basado solo en la velocidad (Brown *et al.*, 2016; Rampinini *et al.*, 2015).

Varios estudios previos han analizado la validez de la PM durante actividades continuas e intermitentes. Brown *et al.* (2016) y Buchheit *et al.* (2015) encontraron una subestimación en el CE en situaciones de entrenamiento en fútbol con patrones de actividad intermitente. Por el contrario, en otro trabajo publicado recientemente por Stevens *et al.* (2015), se observó que, para una acción a intensidad constante, el costo real de energía fue sobreestimado por el enfoque de Di Prampero *et al.* (2005), mientras que para acciones que implican cambios de dirección (como giros de 180°) el CE se subestimó

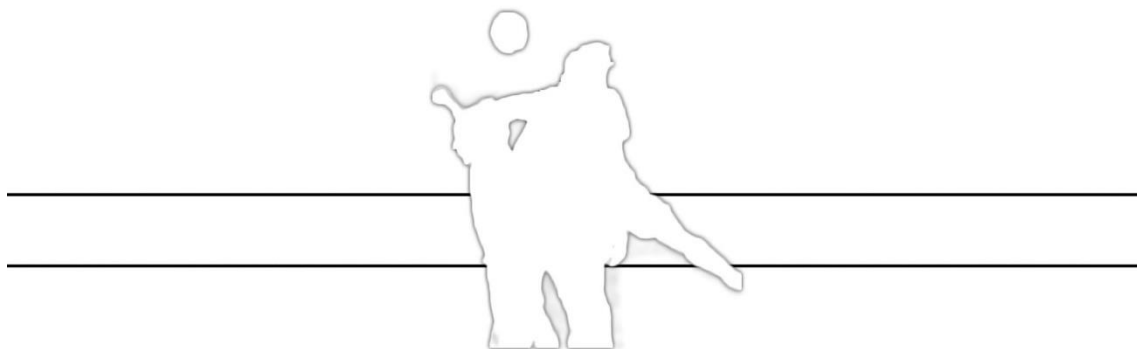
empleando un sistema de análisis de posicionamiento local y un analizador de gases portátil. La diferencia encontrada por estos autores podría ser explicada siguiendo el argumento de Osgnach *et al.* (2016) sobre la influencia de la cinética del VO₂, la cual es más lenta en comparación a la tasa de cambio de la intensidad de trabajo. En vista de sus resultados, Stevens *et al.* (2015) llegaron a la conclusión de que todavía no está claro si es posible comparar el CE y la PM entre diferentes actividades de carrera. Tal comparación de las estimaciones del CE y la PM podrían ser factibles en deportistas que realicen la misma actividad, siendo útil por ejemplo para detectar fatiga. Sin embargo, los encargados de analizar los resultados deben tener cuidado a la hora de hacer comparaciones entre jugadores con diferentes posiciones de juego, ya que por tanto tienen diferentes características del movimiento. Del mismo modo, debería ser considerado que las variaciones en las medidas de los GPS han sido recientemente analizadas, especialmente en aceleraciones y desaceleraciones, usando la misma marca y modelo empleado en nuestro estudio, mostrando la existencia de una gran variación en las medidas de GPS entre modelos y unidades (Buchheit *et al.*, 2014ab). Además, siguiendo los argumentos de Hader *et al.* (2016), los resultados de la PM deben analizarse cuidadosamente y combinarlos con otras variables de evaluación.

El promedio total de todas las posiciones de juego mostró una relación idéntica entre la PM y los resultados de velocidad de carrera, siendo los CM y CL quienes cubrieron sustancialmente más metros que el resto de grupos (*ES de pequeño a grande*). Estos hallazgos son muy similares a los aportados por Castagna *et al.* (2017), quienes informaron que, en términos relativos, la PM y velocidad de desplazamiento tiene una asociación casi perfecta ($r = 0.93$). Esto explica la idéntica relación entre las diferentes posiciones de juego, mientras que, en términos absolutos, la distancia recorrida en las diferentes zonas de intensidad fue diferente. Igualmente, nuestros resultados también se asemejan a los de Di Salvo *et al.* (2007), quienes realizaron un análisis de partidos utilizando el sistema Amisco en partidos de Primera División de España y Champions League, o Gaudino *et al.* (2013) los cuales usaron dispositivos GPS durante 10 semanas de entrenamiento en un período de competición, donde los CM y CL alcanzaron los valores más altos.

4.4.1. Conclusiones.

En vista de los resultados obtenidos, rechazamos las hipótesis planteadas para este estudio (H_1), ya que no encontramos diferencias entre ambos métodos de evaluación a alta, medio o baja intensidad entre las diferentes posiciones de juego. No obstante, sí se apreciaron pequeños cambios entre la PM y la velocidad de carrera a media-baja intensidad, donde los DEL y los DC cubrieron más metros en base al enfoque de la PM, mientras que los CM y CL cubrieron una menor distancia. Sin embargo, los resultados fueron inversos analizando la velocidad carrera. A raíz de estos hallazgos, los valores de PM no difirieron de los basados en la velocidad de desplazamiento, posiblemente porque los dispositivos de GPS utilizados para evaluar la aceleración o la desaceleración no son lo suficientemente fiables en la medición del cambio de la velocidad. Sin embargo, es necesario avanzar con respecto al uso la PM y su aplicación en el análisis de las demandas físicas, particularmente en situaciones que ocurren a baja velocidad. Estos descubrimientos, combinados con investigaciones anteriores, sugieren que el uso de PM para evaluar la carga física debe ser considerado por los entrenadores, especialmente durante los patrones intermitentes de actividades a baja velocidad de carrera, donde una investigación más profunda en el futuro sería necesaria para conocer la validez de este enfoque, lo cual es esencial para un análisis preciso y fiable de las demandas de movimiento en fútbol.

CAPÍTULO 5
**ESTUDIO 2: Individualized thresholds to analyze the
acceleration demands in soccer players using GPS.**



5.1. Resumen (Abstract).

Objetivos: el objetivo del presente estudio fue analizar el número de aceleraciones, porcentaje de la aceleración máxima y la distancia recorrida acelerando según las diferentes posiciones de juego en función a un umbral individual para cada jugador basado en la máxima capacidad de aceleración usando la tecnología GPS.

Métodos: un total de 20 jugadores fueron evaluados durante 4 partidos ($n = 80$). Todos los participantes realizaron un sprint a la máxima velocidad de carrera para determinar su capacidad máxima de aceleración. La actividad de los jugadores durante los partidos fue dividida en 4 categorías individuales de aceleración: A1, aceleración iniciada entre $0-13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y sin llegar a $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ de velocidad final; A2, aceleración iniciada entre $0-13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y alcanzando $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ de velocidad final; A3, aceleración que inicia entre $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y los $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; A4, aceleración que comienza a una velocidad $>18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Resultados: en A1, los DL realizaron un mayor número de aceleraciones en comparación con las otras demarcaciones de juego, logrando una intensidad $\sim 95\%$ de su aceleración máxima. En A2, los DL y los CL realizaron un mayor número de aceleraciones que los DC y los DEL, consiguiendo los CM una intensidad aproximada del 95% de su máxima aceleración. En A3, los CM realizaron una cantidad superior de aceleraciones que el resto de grupos, mientras que los DEL lograron una intensidad aproximada del 78% de su máxima aceleración.

Conclusiones: estos umbrales individualizados podrían ser de gran utilidad para permitir a los técnicos evaluar de forma más precisa el rendimiento físico de los jugadores, permitiéndoles con ello mejorar su rendimiento y prevenir lesiones en futbolistas.

Palabras clave: aceleración, análisis de partido, fútbol, GPS, rendimiento físico.

Abstract.

Background: the aim of the present study was to analyze the number, the percentage of maximum acceleration and the distance covered among different soccer players' positions, classifying them according to an individual threshold based on the maximum capacity of acceleration with a GPS technology.

Methods: a total of 20 players were observed during four matches ($n = 80$). All players undertook a maximal running speed to determine the maximal acceleration. The players' activities during the matches were classified into four individual acceleration thresholds: the acceleration start from 0 to $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ and no reach $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (A1); the acceleration start from 0 to $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ and reach $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (A2); the acceleration start from 13 to $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (A3); the acceleration start $>18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (A4).

Results: during A1, Full-Backs performed a higher number of accelerations compared to others playing positions and reached a ~95% of the maximum acceleration. During A2, Full-Backs and Wide Midfielder performed a higher number of accelerations than Central Defenders and Forwards, and Central Midfielders reached and estimated intensity of the 95% of the maximum acceleration. During A3 CM performed the highest number of accelerations compared to the rest of the groups, while F reached an estimated intensity of the 78% of their maximum acceleration.

Conclusions: this individualized threshold could help coaches assess the physical performance of the players and improve the performance or avoid injuries in soccer players.

Key Words: acceleration, match analysis, soccer, GPS, physical performance.

5.2. Materiales y Métodos.

5.2.1. Sujetos.

El análisis de la actividad de partido fue llevado a cabo en 20 jugadores semiprofesionales de fútbol pertenecientes a la Segunda División B de España (edad 26.6 ± 4.1 años; altura 178.5 ± 5.8 cm; masa corporal 74.4 ± 5.6 kg). Todos los participantes realizaban 14 h de entrenamiento específico en fútbol además de 1 o 2 sesiones de entrenamiento de fuerza a la semana. Los datos de partido fueron recogidos en su registro rutinario de partidos amistosos. Por lo tanto, los requerimientos éticos por parte del comité habitual no fueron necesarios (Winter y Maughan, 2009). Se garantizó la confidencialidad del equipo y jugadores y el estudio siguió el Código de Ética de la World Medical Association (Declaración de Helsinki).

5.2.2. Medidas de la actividad de partido.

Durante los partidos ($n = 4$) y el test de máxima velocidad (40 m), los jugadores llevaron dispositivos GPS (15 Hz SPI-pro W2b, GPSport, Canberra, Australia) colocados en la parte superior de la espalda, usando un chaleco de neopreno adaptado. Todas las unidades fueron activadas más de 20 min antes del encuentro, permitiendo la adquisición de la señal de los satélites (Duffield *et al.*, 2010). El número de satélites para los GPS fue satisfactorio, siendo en todo momento superior a 3 satélites como mínimo (Larsson, 2003), durante los test de velocidad y partidos, habiendo un rango de entre 4 y 11 satélites (7.8 ± 2 de promedio). Los datos de GPS fueron analizados con el software Team AMS-R1-2012.9. El uso de la tecnología GPS para la monitorización de partido ha sido considerado como un método válido y fiable para el estudio de los perfiles de actividad de los jugadores (Coutts y Duffield, 2010; Varley *et al.*, 2012), para la velocidad instantánea (Varley *et al.*, 2012) y el pico de velocidad (Buchheit *et al.*, 2014a). Los

perfiles de aceleración fueron calculados usando plantillas personalizadas de Excel en función a los datos de velocidad y tiempo del software Team AMS.

5.2.3. Protocolo experimental.

Todos los futbolistas realizaron dos sprints de 40 m a máxima velocidad para calcular la aceleración máxima cada 0.5 s. El mejor sprint fue elegido para el análisis. Esta prueba fue realizada en un campo de césped natural al aire libre. Los sujetos llevaban botas específicas de fútbol durante el test. El sprint se inició desde parado, con su pie adelantado a 0.5 m detrás de la línea y se les indicó que corrieran al máximo posible durante los 40 m de recorrido (Méndez-Villanueva, Buchheit, Simpson, Peltola y Bourdon, 2011b). La prueba fue precedida de un calentamiento estandarizado de 20 min que consistió en: 4 min de movilidad, estiramientos en tensión activa, 7 min de carrera continua, 2 progresivos de 40 m y una aceleración máxima de 10 m. El análisis de partido fue realizado en todos los futbolistas durante un total de 4 partidos amistosos a lo largo de un periodo de 4 semanas. Solo se incluyó la primera parte de juego en el estudio y los porteros y los jugadores en proceso de readaptación fueron excluidos. Los encuentros se llevaron a cabo en el mismo terreno de 100 x 70 m de césped natural al aire libre, sin producirse ninguna expulsión. Tácticamente, el equipo empleó una formación de 1-4-4-2.

5.2.4. Análisis de las demandas de carrera en partido.

Para la clasificación de las acciones a alta intensidad basándonos en el porcentaje de aceleración, se empleó una categoría de intensidad moderada-alta que incluía un porcentaje de aceleración >50% de la aceleración máxima propuesto por Sonderegger *et al.* en 2016. Las categorías utilizadas fueron las siguientes: aceleraciones con una

velocidad inicial de 0 a 13 km·h⁻¹ y que no alcanza los 18 km·h⁻¹ de velocidad final (A1); aceleraciones con una velocidad inicial de 0 a 13 km·h⁻¹ y que alcanza los 18 km·h⁻¹ de velocidad final (A2); aceleraciones iniciadas entre 13 y 18 km·h⁻¹ (A3); y aceleraciones que empezaron a más de 18 km·h⁻¹ (A4). El número de aceleraciones, el porcentaje de la aceleración máxima individual y la media de la distancia cubierta acelerando fueron analizados en cada categoría. Todos los jugadores fueron divididos en 5 grupos en función de su posición habitual de juego: DL (n = 4), DC (n = 4), CM (n = 4), CL (n = 4), DEL (n = 4).

5.2.5 Análisis estadístico.

Los resultados se presentan como la media \pm DE. Las posibles diferencias entre jugadores en función a su demarcación fueron analizadas (comparación por pares) para ver el grado de significación práctica empleando la magnitud basadas en inferencias (Hopkins, 2007). Los datos fueron transformados logarítmicamente previamente al análisis para reducir el error de uniformidad (Hopkins *et al.*, 2009). También se calcularon las diferencias estandarizadas (IC del 90%) entre posiciones. Se calculó el tamaño del efecto “d” de Cohen (ES) usando un intervalo de confianza del 90%. Los umbrales aplicados al ES se basaron en la propuesta de Cohen (1988, p. 24-26): trivial (0.0 - 0.19), pequeño (0.2 - 0.59), moderado (0.6-1.1), grande (1.2 - 1.9) y muy grande (>2.0) (Batterham y Hopkins, 2006; Hopkins *et al.*, 2009). La magnitud del cambio se consideró substancial cuando hubo una probabilidad $\geq 75\%$ de que el efecto fuera igual o mayor que el mínimo cambio apreciable, estimado como el producto de 0.2 por la DE de los sujetos (Batterham y Hopkins, 2006; Hopkins, 2004). Si la probabilidad de tener beneficios/mejoras o perjudicial/empeoramiento era $>5\%$, la diferencia se consideró incierta (Batterham y Hopkins, 2006; Suárez-Arrones *et al.*, 2014). Las probabilidades cuantitativas de las diferencias mayores o menores se evaluaron cualitativamente de la siguiente forma: $<1\%$, casi con seguridad no; $<5\%$, muy poco probable; $<25\%$, poco probable/probablemente no; 25-75%, posiblemente/posiblemente no; $>75\%$, probable;

>95% muy probable; >99%, casi con certeza (Batterham y Hopkins, 2006; Hopkins *et al.*, 2009).

5.3. Resultados.

La máxima aceleración individual cada 0.5 s durante un sprint de 40 m en función a la posición de juego se muestran en la tabla 9. El número total de aceleraciones, el número de aceleraciones en cada categoría, el porcentaje de aceleración máxima y la media de la distancia cubierta acelerando en las categorías A1, A2, A3 y A4 están presentadas en la tabla 10, diferenciando según la demarcación de cada jugador.

	DC	DL	CM	CL	DEL
A1 -A2	5.81 ± 0.38 ^b	4.59 ± 0.11	3.81 ± 2.94	6.22 ± 0.15 ^b	5.24 ± 0.9
A3	3.33 ± 0.24	2.84 ± 0.47 ^a	3.02 ± 0.16 ^{ae}	3.13 ± 0.39 ^e	2.63 ± 0.31 ^a
A4	2.66 ± 1.05	2.70 ± 0.02	2.33 ± 0.01 ^b	2.46 ± 0.06 ^b	2.53 ± 0.83 ^b

Tabla 9. Aceleraciones máximas individuales ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) (media ± DE) en las categorías A1, A2, A3 y A4 según las posiciones de juego. ***NOTA:** ^a. Diferencias substanciales con los DC; ^b. Diferencias substanciales con DL; ^c. Diferencias substanciales con CM; ^d. Diferencias substanciales con CL; ^e. Diferencias substanciales con DEL.

Los DL realizaron un mayor número de aceleraciones totales que los DEL [%: +37%, $ES = 1.26$ (90%IC: 2.03; 0.49), 99/1/0% con cambios mayores/similares/inferiores, respectivamente] y los DC [%: +31%, $ES = 1.09$ (90%IC: 1.84; 0.33), 97/2/1% con cambios mayores /similares/inferiores, respectivamente]. Los DEL realizaron un número inferior de aceleraciones totales, con diferencias substanciales con los CL [%: -23.7%, $ES = 0.62$ (90%IC: 1.46; -0.22), 81/14/5% con cambios mayores /similares/inferiores, respectivamente]. En la categoría de A1, los DL realizaron substancialmente un número más elevado de aceleraciones que los DC [%: +28%, $ES =$

1.04 (90%CL: 1.8; 0.29), 96/3/1% con cambios mayores/similares/inferiores, respectivamente], los CL [%: +25.7%, ES = 0.64 (90%CL: 1.44; -0.17), 82/14/4% con cambios mayores/similares/inferiores, respectivamente] y los DEL [%: +39.3%, ES = 1.26 (90%CL: 2.03; 0.48), 99/1/0% con cambios mayores/similares/inferiores, respectivamente], pero no que los CM. En A2, los DL y los CL realizaron una mayor cantidad de aceleraciones que los DC y los DEL (desde +38.2% a +49.1%, ES = desde 0.87 a 1.02, con diferencia en los mayores valores entre el 91-96%). En A3, los CM y los DC obtuvieron los valores más altos y los más bajos, respectivamente, de aceleraciones en comparación a las demás posiciones (desde $\pm 52.7\%$ a $\pm 75\%$, ES = desde 0.89 a 1.54 ES, con diferencia en los mayores valores entre el 86-98%, respectivamente). En la categoría de A4, solo los DL y los DEL realizaron únicamente una aceleración.

		DC	DL	CM	CL	DEL
n° Ac	Total	73.7 ± 4 ^{eb}	106.9 ± 39.4 ^e	86.9 ± 48.7 ^e	88.3 ± 47.1 ^e	63.3 ± 24.6
	A1	57.3 ± 3.4 ^e	79.6 ± 27.5 ^{ade}	65.4 ± 34.6 ^e	59.13 ± 33.3	48.25 ± 19.1
	A2	15.8 ± 3.3 ^{bd}	25.6 ± 12.9	20.2 ± 13.6	27.7 ± 17.1	14.1 ± 7.6 ^{bd}
	A3	1 ± 0 ^c	1.89 ± 1.27 ^{ac}	4 ± 1.73	1.7 ± 0.5 ^{ac}	1.5 ± 0.5 ^{ac}
	A4		1 (solo 1)			1 (solo 1)
% Ac Max	A1	69.2 ± 8.8 ^{bce}	95.5 ± 5.2 ^c	98.4 ± 1.5	75.1 ± 16.4 ^{bc}	80.4 ± 7.5 ^{bc}
	A2	73.2 ± 6.8 ^{bcd}	88.5 ± 10.5 ^c	96.4 ± 6.8	81.4 ± 14.6 ^{bc}	75.8 ± 12.1 ^{bc}
	A3	50.4 ± 11.4	62 ± 19.2 ^{ad}	57.2 ± 22.5 ^a	58.3 ± 10.6 ^a	78.2 ± 22.5 ^{abcd}
	A4		51.21			54.45
Distancia	A1	10.3 ± 2.2	10 ± 2.4	10.7 ± 1.7	10.3 ± 1.3	10.2 ± 1.5
	A2	21.5 ± 5.5	22.4 ± 2.5	22.6 ± 5.6	21 ± 5.3 ^{bc}	22.5 ± 5.3
	A3	10.9 ± 2	17.4 ± 6.5 ^a	14.6 ± 3 ^{abd}	19.9 ± 7.7 ^a	25.1 ± 24 ^a
	A4		15.8			15.8

Tabla 10. Número de aceleraciones (n° Ac), porcentaje de la aceleración máxima individual (% Ac Max) y distancia media cubierta en metros (media ± DE) en las categorías de A1, A2, A3 y A4 según las posiciones de juego. ***NOTA:** ^a. Diferencias substanciales con DC; ^b. Diferencias substanciales con DL; ^c. Diferencias substanciales con CM; ^d. Diferencias substanciales con CL; ^e. Diferencias substanciales con DEL.

Los CM y los DL lograron el 95% de su aceleración máxima durante acciones A1, obteniendo diferencias substanciales con todos los *grupos* ($ES = \text{desde } 1.44 \text{ a } 3.93$, *con diferencia en los mayores valores del 100%*), los cuales no alcanzaron el 80% de su aceleración máxima. En acciones del tipo A2, los CM alcanzaron valores del 95% de su aceleración máxima con diferencias substanciales con todos los grupos ($ES = \text{desde } 0.85 \text{ a } 3.19$, *con diferencia en los mayores valores entre el 92-100%*), los cuales no alcanzaron el 89% de su aceleración máxima. En A3, los DEL lograron el 78% de su aceleración máxima, con diferencias substanciales con el resto de compañeros de equipo ($ES = \text{desde } 0.70 \text{ a } 1.93$, *con diferencia en los mayores valores entre el 79-97%*), los cuales no lograron llegar al 63% de su aceleración máxima. En la categoría de A4, solo los DL y los DEL lograron realizar una aceleración, alcanzando el 51 y 54% de sus aceleraciones máximas, respectivamente.

En la categoría A1, los jugadores recorrieron, aproximadamente, 10 m de distancia sin diferencias substanciales entre ellos. En las acciones en A2, este valor fue duplicado. Los CL recorrieron substancialmente menos metros que los CM [$\%: -7\%$, $ES = 0.71$ ($90\%IC: 1.55; -0.12$), $85/11/4\%$ *con cambios para mayores /similares/inferiores valores, respectivamente*] y los DL [$\%: -6.2\%$, $ES = 0.53$ ($90\%IC: 1.32; 0.27$), $76/18/7\%$ *con cambios para mayores /similares/inferiores valores, respectivamente*].

5.4. Discusión.

El objetivo del presente estudio fue analizar el número de aceleraciones, porcentaje de aceleración máxima y distancia cubierta acelerando por los futbolistas diferenciando según sus posiciones de juego y clasificándolas en función a un umbral individualizado basado en la aceleración máxima durante partidos amistosos. Los principales hallazgos fueron: a) los DL realizaron un mayor número de acciones en A1 (aceleraciones que comenzaron de 0 a $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y no alcanzaron los $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) en comparación a los DC, los CL y los DEL; b) los DL y los CM alcanzaron el 95% de su

aceleración máxima en A1, con diferencias substanciales con todos los grupos; c) los DL y los CL realizaron un número de aceleraciones más elevado en A2 (aceleraciones que comenzaron de 0 a 13 km·h⁻¹ y alcanzaron los 18 km·h⁻¹) que los DC y los DEL; d) los CM lograron el 95% de su aceleración máxima en acciones de tipo A2, con diferencias con todos los grupos; e) los CM realizaron un mayor número de aceleraciones en A3 (aceleraciones que comenzaron entre 13 y 18 km·h⁻¹) que el resto de grupos; f) los DEL llegaron al 78% de su aceleración máxima en A2 con diferencias con el resto de demarcaciones; g) en A1, todos los jugadores cubrieron la misma distancia aproximadamente, aunque durante A2, los CL recorrieron una distancia inferior que los CM y los DL, mientras que en A3, los DC cubrieron una menor distancia que el resto de compañeros de equipo.

El análisis de las aceleraciones basado en la aceleración máxima de los jugadores generó un promedio de 83 aceleraciones durante los primeros 45 min de partido. Este valor representa, aproximadamente, un 54% más de aceleraciones que los encontrados por Ingebrigtsen *et al.* (2015) y Dalen *et al.* (2016), un 28% menos que los encontrados por Varley y Aughey (2013) y un 30% menos que los registros de Bradley *et al.* (2010) al analizar el número de aceleraciones en jugadores de fútbol. Las diferencias encontradas respecto a los anteriores trabajos pueden deberse a varios motivos. Estos autores han utilizado umbrales absolutos, los cuales puede que no se adapten a las capacidades máximas de acelerar de cada jugador. Además, estos estudios no han considerado la velocidad inicial previa a la aceleración, la cual afecta a la capacidad máxima de acelerar (Sonderegger *et al.*, 2016). En nuestro estudio, el 74% del total de las aceleraciones se realizaron según las características de A1, mientras que el 24% siguieron las de A2 y el 2% las de A3. Esta distribución resultó ser similar a las reportadas por Varley y Aughey (2013), quienes estudiaron también las características de las aceleraciones, basándose en un umbral absoluto $>2.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, en función a las velocidades iniciales y finales.

Las aceleraciones que se iniciaron entre los 0 y los 13 km·h⁻¹ y no alcanzaron los 18 km·h⁻¹ de velocidad final (A1) fueron las más repetidas a lo largo de la primera parte de juego en todas las demarcaciones, requiriendo, al mismo tiempo, un porcentaje de aceleración relativa superior (tabla 10). Estos resultados coinciden con otros publicados previamente, los cuales indicaron que el 98% de las aceleraciones que sucedían en un partido eran de esta naturaleza (Varley y Aughey, 2013). Del mismo modo, estas

aceleraciones fueron las más elevadas cuando los jugadores aceleraron desde una baja intensidad de carrera (Bradley *et al.*, 2010). En nuestro estudio, los DL y los CM realizaron el mayor número de aceleraciones en A1, con un promedio de 79 y 65 aceleraciones, respectivamente, durante la primera parte de juego y logrando llegar al 94% y 80% de la aceleración máxima. Estos resultados están en concordancia con los obtenidos por Varley y Aughey (2013) y Dalen *et al.* (2016), quienes indicaron que los DL realizaban un mayor número de aceleraciones durante la primera mitad del encuentro. Estos autores estuvieron en concordancia con la propuesta de Ingebrigtsen *et al.* (2015), quienes concluyeron que los jugadores de las posiciones laterales aceleran más en comparación a los que ocupan posiciones más centrales del campo. Sin embargo, ninguno de estos trabajos mencionó que los CM tuvieron los registros más altos en tales acciones como en nuestro estudio. Los motivos de estos datos contradictorios pueden ser varios. En primer lugar, las intenciones tácticas propuestas a los CM, en nuestro caso, pudieron ser la consecuencia del alto número de aceleraciones por encima de las encontradas por Varley y Aughey (2013), donde los CM y DC realizaron una cantidad menor. En segundo lugar, los valores absolutos más bajos de la capacidad de acelerar de los CM y el hecho de haber relativizado las aceleraciones a su capacidad individual pueden haber propiciado este incremento en el número de aceleraciones, aumentando el número de registros y el porcentaje de aceleración máxima respecto a los otros grupos. Por su parte, Dalen *et al.* (2016) mostraron como los CL y los DL realizaban más aceleraciones que sus compañeros de equipo durante la primera parte del partido. En nuestro trabajo, los CL tuvieron el valor más bajo de aceleraciones en A1, siendo éstas realizadas a un 75% de la aceleración máxima. Una posible explicación a estos resultados podría ser debida a la metodología que hemos empleado en cuanto a la catalogación de las acciones, ya que los CL fueron quienes reflejaron una mayor capacidad de acelerar en A1, obteniendo diferencias substanciales con respecto a los DL.

El análisis del número de aceleraciones basados en un criterio absoluto ($>2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) podría sobreestimar el número de aceleraciones de los jugadores que tienen una gran capacidad de acelerar y subestimar la capacidad de los futbolistas con un registro inferior de aceleración máxima (Dalen *et al.*, 2016). El estudio individualizado en función a la máxima capacidad de acelerar de cada sujeto permitió observar como los DL, con una menor capacidad de aceleración, lograron el 94% de aceleración máxima en situaciones en las que los CL, con mayor capacidad de acelerar, lo hicieron empleando el 75% de su

aceleración máxima. Los DC tuvieron la menor intensidad relativa en aceleraciones de A1, siendo del 69% de la aceleración máxima. Sin embargo, realizaron un mayor número de estas acciones que los CL y los DEL.

En A1, todos los jugadores (de cualquier demarcación) realizaron alrededor de 10 m de distancia acelerando. Este resultado podría proporcionar una información de gran utilidad para entrenadores y preparadores físicos, ya que es conocido que las aceleraciones producen una alta demanda mecánica que puede ocasionar daño muscular debido a las fuerzas producidas sobre la musculatura (Proske y Morgan, 2001), del mismo modo que se ocasiona un incremento de la concentración de CK y la percepción del dolor muscular (Varley *et al.*, 2017a; Young *et al.*, 2012). Por tanto, el conocimiento de las demandas de aceleración de una actividad podría ayudar a los entrenadores a diseñar programas de entrenamiento dirigidos a aumentar el rendimiento específico en estas acciones y reducir el riesgo de lesión.

Durante las aceleraciones que comenzaron entre los 0 y los 13 km·h⁻¹ y alcanzaron los 18 km·h⁻¹ de velocidad final (A2), la distancia cubierta fue el doble que en A1. Esto podría ser un factor determinante para el diseño de programas de entrenamiento específicos. En este sentido, los DL y los CL fueron quienes cubrieron las mayores distancias y el mayor número de aceleraciones en esta categoría (25 y 27, respectivamente) sin diferencias substanciales con los CM. Estos resultados están en concordancia con los de Varley y Aughey (2013) y Dalen *et al.* (2016), quienes mostraron que los DL y los CL recorrieron la mayor distancia acelerando en comparación al resto de demarcaciones. En nuestro estudio, en las aceleraciones de tipo A2, los CL cubrieron una distancia menor que los DL. No obstante, estos últimos requirieron de un porcentaje más alto de su capacidad máxima de acelerar (88%) que los CL (81%). Una posible explicación podría encontrarse en el hecho de que los DL tienen más espacio para acelerar en el campo debido a las condiciones espaciales de su posición, además de tener una menor capacidad para acelerar con respecto a los CL (según nuestros resultados). Debido a esto, necesitan emplear un porcentaje superior de su máximo potencial de aceleración. Los DEL y los DC fueron los que realizaron el número más bajo de aceleraciones en A2, usando el menor porcentaje de aceleración máxima (73 y 75 %, respectivamente). Podría ser que las limitaciones espaciales que implican a estas

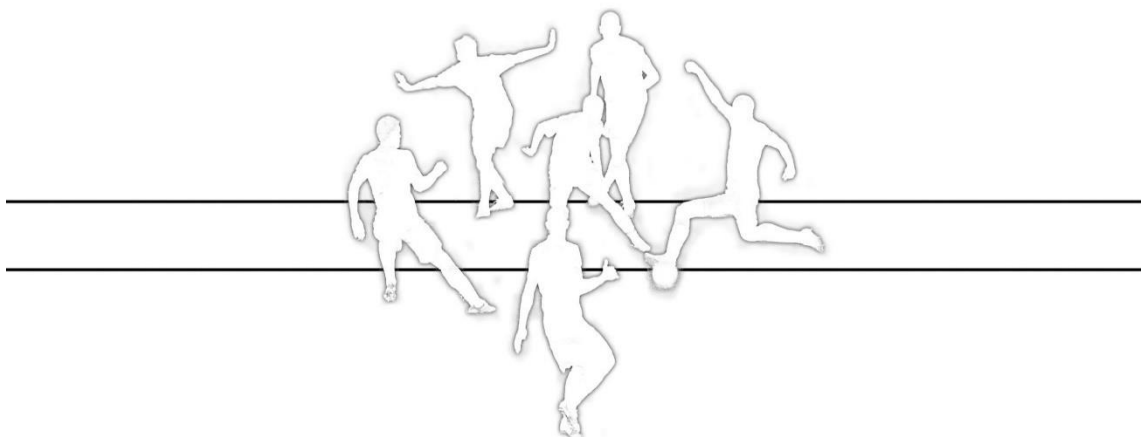
demarcaciones en este sistema de juego no les permitan realizar tales acciones como consecuencia del desarrollo del juego.

Nuestros resultados mostraron un pequeño número de aceleraciones iniciadas entre 13 y 18 km·h⁻¹ (A3). Los CM fueron los que realizaron más acciones de aceleraciones de este tipo (4 aceleraciones en 45 min), alcanzando el 57% de su aceleración máxima. Los DEL lograron el porcentaje más alto de su máxima capacidad de acelerar (78%), al mismo tiempo que fueron los que recorrieron la mayor distancia (25 m).

5.4.1. Conclusiones.

En conclusión, este estudio apoya el uso de un umbral individualizado para la evaluación de las aceleraciones de acuerdo a la máxima capacidad de acelerar en lugar de un umbral absoluto. Además, este enfoque aporta una información de utilidad para el entendimiento de las demandas físicas en fútbol en función a la demarcación de los jugadores. Esto podría facilitar a los entrenadores el poder diseñar programas de entrenamiento más específicos de acuerdo al número de aceleraciones, al porcentaje de la aceleración máxima o la distancia cubierta por los jugadores acelerando. El enfoque tradicional de evaluación a través de la velocidad de carrera no considera la intensidad de algunas acciones que pueden ser desarrolladas en distancias cortas y que por tanto no alcanzan velocidades altas de carrera. Podríamos caer en el error de considerar esfuerzos como media o baja intensidad mientras que éstos han podido ser realizados a alta intensidad. Dicho esto, el uso de un umbral individualizado basado en el porcentaje de la aceleración máxima podría ser una buena herramienta para cuantificar este tipo de actividades en fútbol.

CAPÍTULO 6
**ESTUDIO 3: Use of individual relative thresholds to assess
acceleration in young soccer players according to initial
speed.**



6.1. Resumen (Abstract).

Objetivos: Los objetivos del presente estudio fueron 1) analizar las características de los esfuerzos que requieren las aceleraciones usando un umbral relativo individualizado en función a la velocidad inicial previa a la aceleración durante partidos oficiales en jugadores jóvenes de élite según sus posiciones de juego y 2) comparar las diferencias entre el uso de umbrales absolutos y relativos para evaluar las acciones a alta intensidad.

Métodos: Los perfiles de aceleración de los jugadores durante partidos de fútbol fueron evaluados empleando un umbral relativo basado en su capacidad de acelerar de cada jugador a diferentes velocidades iniciales (desde parado, a $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, a $10.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; y a $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y el número de aceleraciones ($>75\%$ de la aceleración máxima) realizado durante partidos de fútbol fue dividido en 3 categorías según la velocidad inicial ($S1 = 0-7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $7.1-14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; y $\geq 14.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Resultados: El análisis de los diferentes grupos mostró como el número de aceleraciones realizado en cada categoría fue mayor cuando los esfuerzos comenzaron desde parado o andando que a moderada o alta intensidad de carrera ($S1 > S2 > S3$; *de muy probable a casi con certeza*). El análisis entre grupos reveló diferencias substanciales entre algunas de las posiciones de juego en función a la velocidad inicial. En S1 y S3, los DC tuvieron los valores más bajos en cuanto al número de aceleraciones (*de posible a casi con certeza*), mientras que los CM fueron quienes realizaron el mayor número de acciones acelerando a alta intensidad en S1 y S2. Se encontraron también diferencias substanciales entre otras demarcaciones (*de probable a casi con certeza*). Con respecto a los umbrales relativos y absolutos ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), los datos indicaron que el umbral absoluto sobreestimó el número de aceleraciones a alta intensidad comparado con el umbral relativo individualizado en S1 (*casi con certeza*) y subestimó los resultados en S2 y S3 (*casi con certeza*).

Conclusiones: El uso de un umbral relativo individualizado para medir las demandas de aceleración mostró que las diferencias entre el número de aceleraciones son

resultado de la velocidad inicial y las posiciones de juego. Por tanto, el uso de umbrales absolutos debería ser empleado con precaución durante actividades que impliquen aceleraciones en fútbol.

Palabras clave: perfiles de aceleración, velocidad inicial, alta intensidad, fútbol, rol posicional.

Abstract.

Background: The aims of the current study were 1) to analyse the characteristics of acceleration efforts using individual relative thresholds according to the initial speed during official matches in elite young soccer players according to player position and 2) to compare the differences between absolute and relative thresholds in assessing high-intensity acceleration.

Methods: Player acceleration profiles were assessed using an individual relative threshold based on their acceleration capacity at different initial speeds (standing, $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $10.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ and $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) and the number of accelerations ($>75\%$ of the maximal acceleration) performed during soccer matches was divided in 3 categories attending to the initial speed ($S1 = 0\text{-}7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $S2 = 7.1\text{-}14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; and $S3 = \geq 14.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Results: Within-group analyses showed that the number of accelerations performed in each category was higher when the effort started from a static or walking position than at moderate or high-intensity running ($S1 > S2 > S3$; *very likely to almost certain*). Between-group analyses revealed substantial differences between some playing positions according to initial speed. In $S1$ and $S3$, central defenders had the lowest number of accelerations (*likely to almost certain*), whereas midfielders had the greatest number of high-intensity accelerations in $S1$ and $S2$. There were also substantial differences between the other playing positions (*possibly to almost certain*). Regarding relative and absolute thresholds ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), the results showed that absolute threshold overestimated the number of high-intensity accelerations compared with the individual relative threshold in $S1$ and underestimated the results in $S2$ and $S3$ (*almost certain*).

Conclusions: The use of an individual relative threshold to measure acceleration demands showed that differences between the numbers of accelerations in function of the initial speed and playing positions. In addition, the absolute acceleration threshold could overestimate or underestimate the acceleration demands in young soccer players as a function of the initial speed. Then, the absolute acceleration thresholds should be taken with caution in the assessment of acceleration activities.

Key words: acceleration profile, initial speed, high intensity, soccer, positional role.

6.2. Materiales y Métodos.

6.2.1. Sujetos.

Un total de 26 jóvenes futbolistas (edad = 17.3 ± 3.9 años; altura = 175.6 ± 5.8 cm; peso = 72.4 ± 5.2 kg) pertenecientes a un club de fútbol profesional de España (La Liga BBVA) fueron evaluados durante sus partidos oficiales en la liga nacional, copa nacional y UEFA Youth League. Todos los jugadores participaron en un promedio de ≈ 15 h de entrenamiento de fútbol combinado (4-5 sesiones), entrenamiento de fuerza (1 o 2 sesiones), entrenamiento específico individualizado (1 sesión) y partidos competitivos (1 o 2 partidos) por semana. Los futbolistas fueron informados previamente a la recolección de datos de los objetivos, del protocolo experimental, de los riesgos y los beneficios del estudio. Todos los procedimientos realizados estuvieron de acuerdo con los estándares éticos de la Declaración de Helsinki de 1946. El consentimiento informado se obtuvo de todos los participantes incluidos en el estudio o de sus padres en el caso de ser menores de 18 años (anexo 4).

6.2.2. Diseño del estudio y procedimiento.

Dieciocho partidos y un total de 108 registros individuales fueron analizados ($n = 108$), excluyendo los datos de los porteros o jugadores lesionados. Solo se estudiaron partidos completos, descartando a aquellos futbolistas que fueron substituidos ($n = 72$). Los jugadores fueron divididos en 5 grupos en función a su demarcación durante los encuentros; DC ($n = 40$), DL ($n = 23$), CM ($n = 18$), CL ($n = 20$) y DEL ($n = 7$). Tácticamente, solo se incluyeron partidos donde se utilizó la formación 1-4-2-3-1. Los participantes en esta investigación realizaron 4 aceleraciones máximas de 40 m para lograr la máxima velocidad de carrera (Buchheit *et al.*, 2012; Méndez-Villanueva *et al.*, 2011b) siguiendo la propuesta de Sonderegger para relativizar la aceleración en función a velocidad inicial y la aceleración máxima (Sonderegger *et al.*, 2016).

El primer sprint fue realizado desde parado, mientras que el resto fueron iniciados a diferentes velocidades constantes: $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $10.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Después de cada sprint se concedieron 3 min de recuperación. Para lograr tal velocidad previa, se emplearon pequeñas señales acústicas con un altavoz colocado en mitad del campo para que los jugadores lo tuvieran como referencia junto a marcadores visuales cada 5 m de distancia. Los sujetos fueron instruidos a mantener la velocidad constante entre 25 y 40 m para, en un momento al azar, escuchar el sonido de un silbato para acelerar al máximo y alcanzar la máxima velocidad posible. Antes del test, los futbolistas fueron familiarizados con la ejecución en la misma superficie artificial. Se realizó un protocolo estandarizado de 20 min de calentamiento antes de los ejercicios de familiarización y el test (Sonderegger *et al.*, 2016). A continuación, se empleó un modelo de regresión individual para cada jugador con el objetivo de evaluar la relación entre la velocidad inicial y la máxima aceleración realizada. Como las velocidades iniciales reales para cada jugador fueron diferentes, la velocidad inicial previa a la aceleración de cada jugador fue empleada para el modelo de regresión en lugar de las velocidades establecidas en el test.

6.2.3. Recogida de datos.

Para la monitorización de la actividad de carrera durante los partidos se utilizaron dispositivos GPS de 15 Hz (SPI, Pro X, GPSports, Canberra, Australia). La fiabilidad y validez de este modelo fue realizada para la distancia recorrida, la valoración a diferentes velocidades de carrera y actividades de fútbol específicas, proporcionando datos más fiables de las demandas de movimiento que los GPS de 1 o 5 Hz (Portas *et al.*, 2010; Varley *et al.*, 2012; Waldron *et al.*, 2011). Cada unidad se colocó entre las escápulas, en la parte superior de la región torácica de la columna y ubicada dentro de un mallot de neopreno proporcionado por el fabricante (Owen *et al.*, 2015). Los dispositivos fueron activados antes del calentamiento, con lo que todas las unidades se encendieron al menos 20 min antes del partido, permitiendo la adquisición de la señal de los satélites (Duffield *et al.*, 2010).

6.2.4. Análisis de partido.

De acuerdo con Sonderegger *et al.* (2016), el porcentaje de aceleración fue calculado en relación a la aceleración máxima y la máxima aceleración voluntaria que se puede lograr a cada velocidad inicial particular (ec 9) [porcentaje de aceleración (%) = aceleración máxima de la acción/aceleración máxima · 100]. Para asegurar la evaluación individual de cada jugador, empleamos la ecuación del modelo de regresión individual en función a los resultados del test para el posterior análisis de partido. Para el estudio de la aceleración, todas las acciones con un alto porcentaje de aceleración (>75% de la aceleración máxima individual) fueron registradas (De Hoyo *et al.*, 2017; Sonderegger *et al.*, 2016). Además, las aceleraciones fueron cuantificadas en función a 3 velocidades iniciales: estático o andando (S1 = 0-7 km·h⁻¹), velocidad moderada (S2 = 7.1-14 km·h⁻¹) y alta velocidad de carrera (S3 ≥ 14.1 km·h⁻¹) (De Hoyo *et al.*, 2017). Los datos de los dispositivos GPS se descargaron con el software Team AMS (Canberra, Australia). A continuación, los umbrales relativos fueron calculados usando una plantilla de Microsoft Excel personalizada a partir de la velocidad mínima y la máxima aceleración (m·s⁻²) conseguida de los datos del software.

6.2.5. Análisis estadístico.

Se utilizó estadística descriptiva para resumir todas las características y resultados demográficos. Los resultados se presentan como la media ± DE. Todos los datos se transformaron logarítmicamente para el análisis con el objetivo de reducir el sesgo que surge del error de no uniformidad para, a continuación, analizar la significancia práctica usando magnitudes basadas en inferencias (Hopkins *et al.*, 2009). La escala empleada considera una magnitud de cambio substancial cuando hay una probabilidad del efecto ≥ 75%, siendo igual o mayor que el mínimo cambio apreciable, estimado como el producto de 0.2 por la DE entre sujetos (Hopkins, 2004). Las probabilidades cuantitativas de las diferencias mayores o menores se evaluaron cualitativamente de la siguiente forma: <1%,

casi con seguridad no; <5%, muy poco probable; <25%, poco probable/probablemente no; 25-75%, posiblemente/posiblemente no; >75%, probable; >95% muy probable; >99%, casi con certeza. Si la probabilidad de tener beneficios/mejoras o perjudicial/empeoramiento era >5%, la verdadera diferencia se consideró incierta (Batterham y Hopkins, 2006; Suarez-Arrones *et al.*, 2014). Los umbrales aplicados al tamaño del efecto se basaron en la propuesta de Cohen (1988, p. 24-26): trivial (0.0 - 0.19), pequeño (0.2 - 0.59), moderado (0.6-1.1), grande (1.2 - 1.9) y muy grande (>2.0) (Batterham y Hopkins, 2006; Hopkins *et al.*, 2009).

6.3. Resultados.

6.3.1. Análisis de grupos.

Las diferencias relativas y cualitativas resultantes del análisis de los grupos considerando la velocidad inicial se muestran en la tabla 11. Los resultados destacan como, para todas las posiciones de juego, el número de aceleraciones >75% de la aceleración máxima fue más alto cuando los jugadores empezaron desde una posición estática o andando (S1) que cuando iniciaron la aceleración a moderada o alta intensidad (S2 o S3) (S1>S2>S3; *de muy probable a casi seguro*).

	n° Ac >75%	Velocidad inicial	Diferencias estandarizadas (ES ± 90% IC)	Oportunidad (%) (90% IC)	Probabilidad (%)	Valoración cualitativa
DC (n = 40)	S1: 10.00 ± 6.73	S1 vs S2	1.00 (0.62; 1.38)	56.2 (40.2; 67.9)	100/0/0%	Casi con certeza
	S2: 2.78 ± 1.91	S1 vs S3	1.99 (1.50; 2.48)	79.3 (69.5; 86.00)	100/0/0%	Casi con certeza
	S3: 0.23 ± 0.58	S2 vs S3	1.62 (0.91; 2.34)	52.8 (34.3; 66.2)	100/0/0%	Casi con certeza
DEL (n = 7)	S1: 13.57 ± 4.72	S1 vs S2	1.37 (0.47; 2.26)	61.5 (27.8; 79.5)	98/2/1%	Muy probable
	S2: 7.95 ± 5.68	S1 vs S3	3.77 (2.67; 4.87)	89.4 (79.6; 94.5)	100/0/0%	Casi con certeza
	S3: 0.86 ± 1.07	S2 vs S3	1.78 (0.76; 2.8)	72.4 (42.4; 86.8)	99/1/0%	Muy probable
CL (n = 20)	S1: 21.7 ± 16.81	S1 vs S2	1.09 (0.57; 1.61)	64.5 (41.6; 78.4)	100/0/0%	Casi con certeza
	S2: 2.63 ± 2.19	S1 vs S3	3.20 (2.58; 3.82)	89.9 (84.2; 93.5)	100/0/0%	Casi con certeza
	S3: 0.60 ± 0.94	S2 vs S3	1.59 (0.99; 2.20)	71.9 (54.2; 82.4)	100/0/0%	Casi con certeza
DL (m = 23)	S1: 21.52 ± 14.22	S1 vs S2	1.08 (0.58; 1.58)	64.4 (42.7; 77.9)	100/0/0%	Casi con certeza
	S2: 7.00 ± 5.07	S1 vs S3	3.13 (2.60; 3.66)	92.5 (88.3; 95.1)	100/0/0%	Casi con certeza
	S3: 0.57 ± 0.79	S2 vs S3	2.43 (1.88; 2.99)	78.8 (69.8; 85.1)	100/0/0%	Casi con certeza
CM (n = 18)	S1: 28.6 ± 15.2	S1 vs S2	1.66 (1.09; 2.23)	64.5 (49.4; 75.1)	100/0/0%	Casi con certeza
	S2: 10.24 ± 5.46	S1 vs S3	7.13 (6.55; 7.71)	95.6 (94.4; 96.6)	100/0/0%	Casi con certeza
	S3: 0.76 ± 0.56	S2 vs S3	4.17 (3.59; 4.75)	87.7 (83.6; 90.8)	100/0/0%	Casi con certeza

Tabla 11. Diferencias relativas y cualitativas en el número (media ± DE) de aceleraciones de alta intensidad (>75% de la aceleración máxima) en función a la velocidad inicial en función a las posiciones de juego. Nota: N° ac >75%: número de aceleraciones >75% de la aceleración máxima; S1 = velocidad inicial desde 0.0 a 7.0 km·h⁻¹; S2: velocidad inicial de 7.1 a 14.0 km·h⁻¹; S3: velocidad inicial >14.1 km·h⁻¹. Valoración cualitativa = porcentaje de oportunidad de cambio mejor/similar/peor valores.

6.3.2. Análisis entre grupos.

Los resultados del análisis entre grupos se muestran en la figura 19. Los datos indican un valor substancialmente superior en el número de aceleraciones a alta intensidad en S1 por parte de los CM, los CL, los DL y los DEL en comparación con los DC [% de diferencia: 254.8 (90%IC: 148.3; 406.8), 100/0/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; % de diferencia: 128.1 (90%IC: 48.7; 250.1), 99/1/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; % de diferencia: 131.9 (90%IC: 45.0; 271.1), 99/1/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; % de diferencia: 81.5 (90%IC: 15.8; 184.4), 94/5/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; respectivamente], y en los CM con los CL, los DL y los DEL [% de diferencia: 35.7 (90%IC: 3.7; 57.1), 88/11/1% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; % de diferencia: 52.9 (90%IC: -2.3; 139.4), 82/16/2% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; % de diferencia: 48.8 (90%IC: 21.5; 66.6), 98/2/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; respectivamente]. En S2, los CM realizaron substancialmente un número de aceleraciones a alta intensidad más elevado que los DEL, los DL, los DC y los CL [% de diferencia: 44.6 (90%IC: 0.8; 69.6), 90/8/2% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; % de diferencia: 52.7 (90%IC: 3.4; 125.3), 88/11/1% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; % de diferencia: 187.6 (90%IC: 111.1; 291.9), 100/0/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; % de diferencia: 35.7 (90%IC: 1.7; 59.4), 84/15/2% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; respectivamente]. Los DEL tuvieron diferencias substanciales en el número de aceleraciones a alta intensidad sobre los DC [% de diferencia: 59.3 (90%IC: -9.7; 180.8), 85/11/4% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente], los DL sobre los DC [% de diferencia: 88.4 (90%IC: 36.6; 159.9), 99/1/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente] y los DC sobre los CL [% de diferencia: 84.8 (90%IC: 23.2; 177.4), 97/3/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente]. Con respecto a la

categoría S3, los resultados destacaron un número substancialmente superior de aceleraciones a alta intensidad por parte de los CM en comparación a los CL y los DC [*% de diferencia: 48.6 (90%IC: 5.9; 108.6), 94/4/2% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; % de diferencia: 25.1 (90%IC: 27.8; 45.7), 89/8/4% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente; respectivamente*], siendo incierta entre el resto de las demarcaciones.

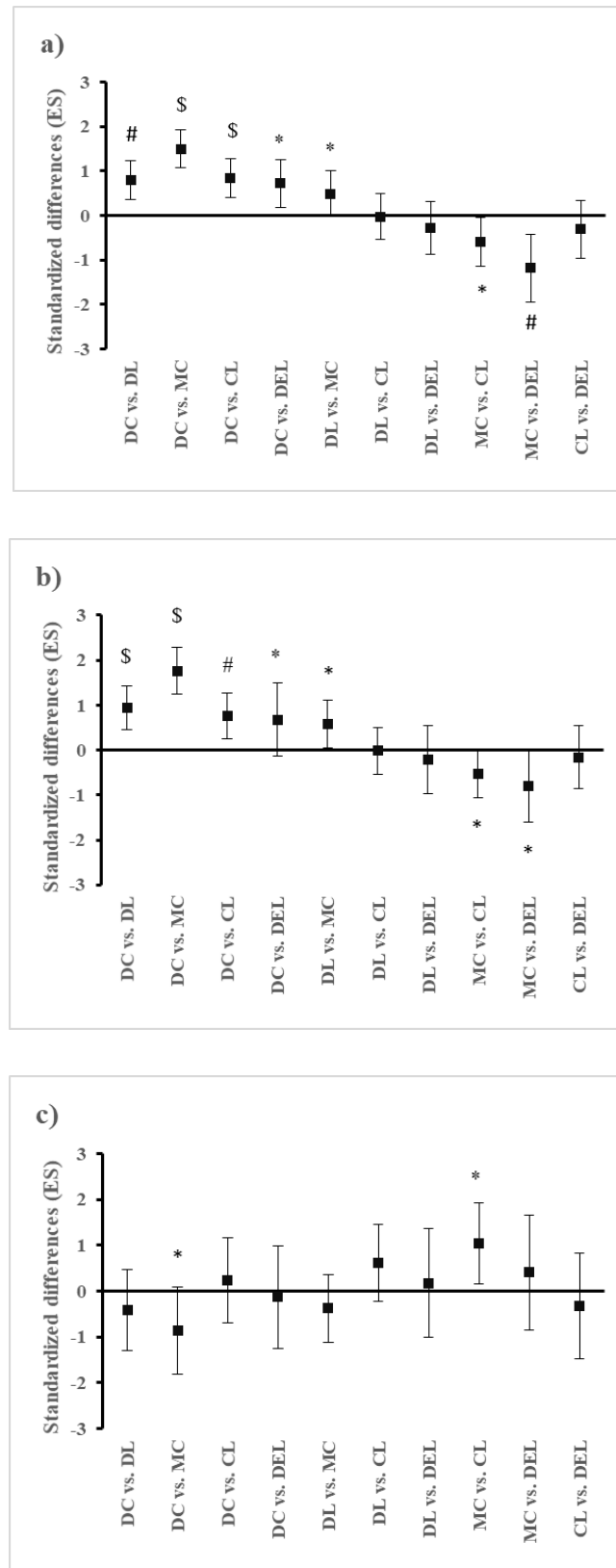


Figura 19. ($ES \pm IC90\%$). Comparación del número de aceleraciones a alta intensidad entre las diferentes posiciones de juego y en función a la velocidad inicial: (a) aceleraciones que comenzaron en S1; (b) aceleraciones que comienzan en S2; (c) aceleraciones que comienzan en S1. Las barras indican el grado de incertidumbre en los cambios reales con IC del 90%. Evaluación cualitativa * = Probable; # = Muy probable; \$ = Casi con certeza.

6.3.3. Análisis de los umbrales relativos y absolutos.

El estudio del número de esfuerzos de aceleración a alta intensidad usando umbrales absolutos ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) y considerando la velocidad inicial mostró valores superiores en S1 con respecto a S2 [% de diferencia: 95.2 (90%IC: 94.2; 96.0), 100/0/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente, (ES: 4.74 [90%IC: 4.97; 4.52])] y S3 [100/0/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente, (ES: 5.01 [90%IC: 5.23; 4.78])]. En S2, se encontraron valores superiores en el número de aceleraciones a alta intensidad en comparación con S3 [100/0/0% con cambios para valores superiores/similares/inferiores, respectivamente, (ES: 1.48 [90%CL: 1.70; 1.25])]. Los resultados mostraron que no se realizó ninguna aceleración $>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ en la categoría de S3.

La comparación entre ambos umbrales está representada en la figura 20. Los datos mostraron que el número de aceleraciones a alta intensidad usando umbrales absolutos fue substancialmente mayor (*casi con certeza*) en comparación con los umbrales relativos individualizados en S1. Sin embargo, el número de aceleraciones a alta intensidad empleando umbrales absolutos fue substancialmente menor (*casi con certeza*) que usando umbrales relativos individualizados cuando la velocidad previa a la aceleración sucedió en las categorías de S2 y S3.

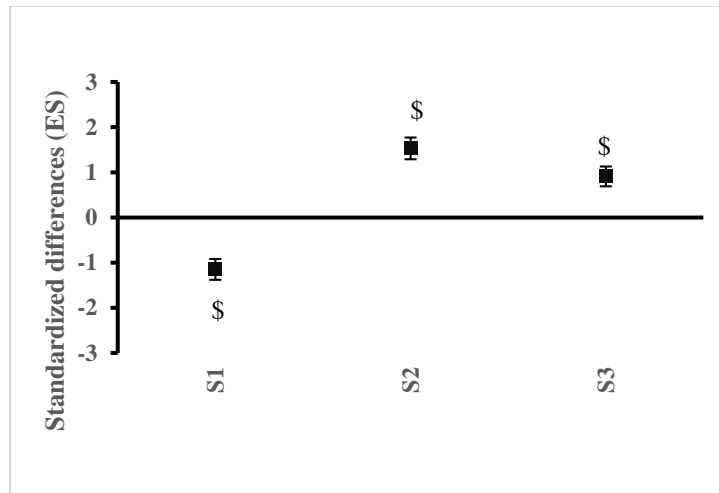


Figura 20. ($ES \pm IC90\%$). Comparación del número de aceleraciones a alta intensidad entre los umbrales absolutos ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) y relativos individualizados ($>75\%$ de la aceleración máxima) en función a la velocidad inicial: (a) aceleraciones que comenzaron en S1; (b) aceleraciones que comienzan en S2; (c) aceleraciones que comienzan en S1. Las barras indican el grado de incertidumbre en los cambios reales con IC del 90%. Evaluación cualitativa; \$ = Casi con certeza.

6.4. Discusión.

Recientemente, Sonderegger *et al.* (2016) diseñaron un nuevo modelo para evaluar los perfiles de aceleración en función a la velocidad inicial previa en jugadores de fútbol. Este método podría aportar una importante información respecto a las características de las aceleraciones en este deporte con el objetivo proporcionar un mejor entendimiento de los esfuerzos de alta intensidad en fútbol. Los principales objetivos de este estudio fueron 1) realizar un análisis descriptivo de los diferentes perfiles de aceleración usando un umbral relativo individualizado basado en la velocidad inicial previa a la aceleración en función a las posiciones de juego y 2) comparar entre tal umbral relativo individualizado y un umbral absoluto de alta intensidad. Los resultados mostraron diferencias entre los perfiles de aceleración a alta intensidad en función a la velocidad inicial y las posiciones de juego. Además, el uso de umbrales relativos para la evaluación del número de aceleraciones fue sobreestimado por el umbral absoluto cuando las aceleraciones comenzaron desde S1, mientras que en S2 y S3 fue subestimado ($13.26 \pm 5.51\%$ y $2.78 \pm 5.51\%$ en S2 y S3, respectivamente).

Nuestros datos mostraron como el mayor número de aceleraciones a alta intensidad (>75% de la aceleración máxima) fueron realizadas desde parado o andando (S1) ($72.36 \pm 15.54\%$) y fue reduciéndose cuando la velocidad inicial fue aumentando ($13.26 \pm 5.51\%$ y $2.78 \pm 5.51\%$ en S2 y S3, respectivamente). En este sentido, todas las posiciones de juego realizaron más aceleraciones a alta intensidad en S1 que en S2, y en S2 más que en S3 (tabla 11). Si comparamos nuestros resultados con los de De Hoyo *et al.* (2017), podemos observar diferencias existentes entre jóvenes y adultos cuando se emplea un umbral individualizado. Los resultados de estos investigadores revelaron que el número de aceleraciones que comenzaron por encima de $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (S3) fue la acción más común en partidos de fútbol profesional ($42.95 \pm 25.74\%$). En nuestro caso, basándonos en la propuesta de Sonderegger, hemos considerado la capacidad máxima de acelerar de cada sujeto a diferentes velocidades iniciales, y tal enfoque puede que sea la razón por la cual hemos encontrado diferencias con De Hoyo *et al.* (2017), las cuales pueden estar relacionadas con el nivel competitivo y la edad (Buchheit *et al.*, 2010ab; Buchheit *et al.*, 2012). Sin embargo, en línea con nuestros resultados, otros autores han sugerido que el 98% de las aceleraciones comienzan en S1 (Varley y Aughey, 2013), siendo superior el número de aceleraciones en jugadores de élite cuando comenzaban la acción desde baja intensidad que cuando lo hacían a alta velocidad de carrera (Bradley *et al.*, 2010). En este sentido, Bradley *et al.* (2010) utilizaron un umbral absoluto para evaluar las aceleraciones a alta intensidad durante partidos domésticos e internacionales ($>4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Sin embargo, estos investigadores no consideraron la velocidad inicial para clasificar las aceleraciones de alta intensidad. Por tanto, podría ser que, aunque los futbolistas realizaran aceleraciones de esta magnitud, éstas fueran iniciadas a una velocidad de carrera previa elevada, siendo consecuentemente sobreestimado con un umbral absoluto ya que la capacidad de acelerar es superior si la velocidad inicial es menor, como sería desde una posición estática o andando. Además, existe la posibilidad de que estos jugadores hayan realizado aceleraciones a máxima intensidad, pero desde una velocidad inicial elevada, la cual dificulta, o incluso podría impedir, que estos futbolistas alcancen el umbral de $>4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, subestimando por tanto los resultados. Los datos mostrados en la figura 20 corroboran esta idea. En esta tabla se observa como en S1, el número de aceleraciones fue más elevado substancialmente usando un umbral absoluto que con un umbral relativo, mientras que desde S2 y S3 se encontraron un número de aceleraciones substancialmente superior usando el umbral relativo en comparación al absoluto.

Atendiendo a las posiciones de juego, han sido encontradas diferencias en función a las categorías según la velocidad inicial previa a la aceleración. Cuando estas acciones se iniciaron desde una posición estática o andando (S1), los CM obtuvieron los mejores registros por encima de todos sus compañeros de equipo (*ES: 0.59, 0.49, 1.18 y 1.50 con CL, DL, DEL, DC, respectivamente*) seguido de los CL, quienes tuvieron diferencias substanciales con los DEL y los DC (*ES: 0.31 y 0.85, respectivamente*). Los DEL consiguieron también un número más elevado de aceleraciones que los DC (*ES: 0.72*).

En la categoría S2, los CM lograron nuevamente el mayor número de aceleraciones a alta intensidad por encima de los DEL, los DL, los DC y los CL (*ES: 0.80, 0.57, 1.76 y 0.52, respectivamente*). Al contrario que en S1, los CL realizaron el peor registro, con diferencias substanciales con los DC (*ES: 0.76*).

En S3, los resultados destacaron diferencias substanciales en los CM con respecto a los CL y los DC (*ES: 1.04 y 0.86, respectivamente*). Estas diferencias entre las demarcaciones de juego en jóvenes jugadores de fútbol fueron ya demostradas previamente en otras investigaciones (Buchheit *et al.*, 2010a; Vigh-Larsen *et al.*, 2018). Otro estudio encontró resultados similares en jóvenes futbolistas (Vigh-Larsen *et al.*, 2017), donde los DC tuvieron los valores más bajos en el número de aceleraciones usando un umbral absoluto ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Sin embargo, estos estudios también observaron cómo los CM obtuvieron un número inferior de aceleraciones respecto al resto de compañeros, mientras que en nuestro trabajo fueron los que consiguieron el valor más elevado. Esto podría ser debido al uso de umbrales absolutos, ya que estos pueden, como ya hemos comentado con anterioridad, sobreestimar o subestimar la máxima capacidad de aceleración de cada jugador, afectando consecuentemente los resultados.

A nuestro conocimiento, solo un estudio ha empleado umbrales relativos en función de la velocidad inicial para comparar entre las diferentes posiciones de juego en fútbol (De Hoyo *et al.*, 2017), pero ninguno en jóvenes jugadores. Estos autores encontraron unos resultados similares comparando los DC con el resto de posiciones. Sin embargo, en su trabajo con jugadores profesionales, los DL lograron el mayor número de aceleraciones a alta intensidad, mientras que en nuestra investigación han sido los CM. En S2, los CL consiguieron mejores resultados que los DL en futbolistas profesionales (De Hoyo *et al.*, 2017), mientras nuestros resultados muestran que los CL tuvieron los

peores registros de aceleración. Cuando la velocidad se inició a alta velocidad de carrera (S3), nuestros CM consiguieron valores más altos que los CL y DC, mientras que para De Hoyo *et al.* (2017), los CL tuvieron un mayor número de aceleraciones en comparación a los DL, siendo estos superiores substancialmente a los CM. Además, comparando ambos estudios, hay considerables diferencias en el número de acciones de aceleración a alta intensidad según la velocidad inicial en todas las categorías. Por ejemplo, nuestros registros indicaron que los DC realizaron 10.00 ± 6.73 aceleraciones, mientras que De Hoyo *et al.* (2017) observaron únicamente 1.57 ± 1.45 para la misma posición. Estas diferencias confirman que el método desarrollado en nuestro trabajo es lo suficientemente sensible como para apreciar las diferencias entre las posiciones de juego y el nivel competitivo, lo cual podría ser muy útil para los entrenadores, ya que les permitirá desarrollar programas de entrenamiento específicos adaptados a las demandas específicas de cada jugador. Buchheit *et al.* (2010b y 2012) indicaron que la capacidad de sprint dependía directamente de la edad de los deportistas, recorriendo generalmente más distancias a esta intensidad los jugadores veteranos que los más jóvenes. Estos autores sugirieron que, a pesar de la mejor capacidad de aceleración de los jugadores de más edad, ésta no les permitía alcanzar una velocidad superior durante una distancia de carrera corta en comparación a los jugadores más jóvenes, debido a que los más mayores alcanzaban su velocidad máxima de carrera unos metros más tarde según la prueba de 40 m a sprint. Este fenómeno podría explicar porque nuestros resultados fueron superiores con jugadores jóvenes en comparación a los observados por De Hoyo *et al.* (2017) con futbolistas profesionales. Con vista a futuras investigaciones, entendemos que es necesario completar este análisis descriptivo en función al nivel competitivo y la edad de los jugadores.

Varios estudios han evaluado la aceleración durante partidos o entrenamientos usando umbrales absolutos arbitrarios (Akenhead *et al.*, 2013; Bradley *et al.*, 2010; Castagna *et al.*, 2017; Hoppe *et al.*, 2017; Osgnach *et al.*, 2010; Stevens *et al.*, 2017). Cuando estas categorías son empleadas, no se tiene en cuenta la capacidad individual de cada jugador de acelerar y a todos los sujetos se les presupone tener la misma capacidad de aceleración. Además, estos umbrales no tienen en cuenta la capacidad de acelerar en función a la velocidad inicial, la cual difiere considerablemente (Sonderegger *et al.*, 2016). En nuestro estudio, comparando con los umbrales relativos individualizados, cuando las aceleraciones empezaron en S1, los umbrales absolutos ($>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

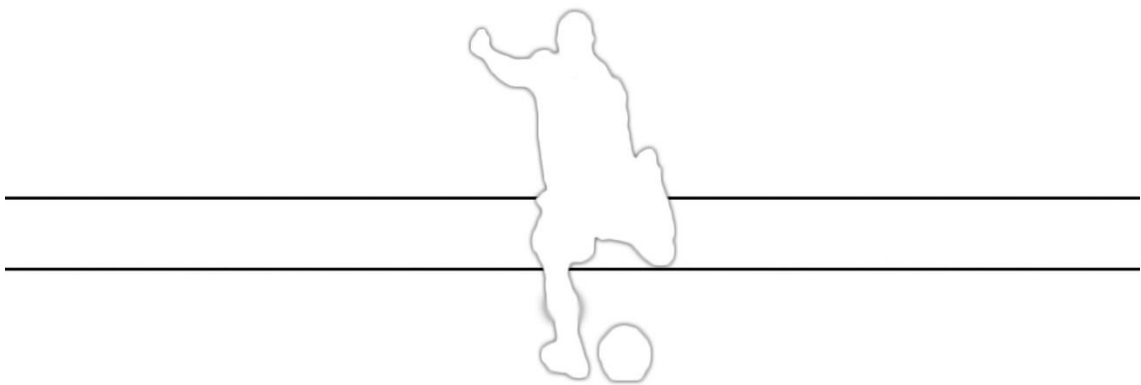
sobreestimaron las demandas de aceleración a alta intensidad. Sin embargo, cuando comparamos los datos obtenidos entre ambos umbrales en las categorías S2 y S3, vemos como el uso de zonas de intensidad absolutas subestimó el número de esfuerzos de aceleración a alta intensidad en comparación a los umbrales relativos individualizados (figura 20). Estas diferencias podrían ser explicadas por dos motivos. Primero, un umbral absoluto $>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ podría no ser apropiado para cada jugador puesto que no considera su capacidad máxima de acelerar. Por tanto, para algunos jugadores, la evaluación mediante el uso de umbrales absolutos $>3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ podrían representar una intensidad muy baja o muy alta. En este sentido, Buchheit *et al.* (2010a) observaron estas diferencias cuando emplearon umbrales absolutos e individuales para valorar la capacidad de repetir sprints durante partidos. Cuando usaron umbrales absolutos, los jugadores de más edad tuvieron mejor resultados que los jóvenes. Sin embargo, cuando analizaron estas acciones con umbrales relativizados a la capacidad máxima individual, los jóvenes lograron un mayor número de estas acciones. Segundo, un umbral absoluto tampoco considera las diferentes capacidades de acelerar en función a la velocidad inicial previa. Dicho esto, resulta más difícil para las aceleraciones que son iniciadas desde una velocidad moderada o alta lograr sobrepasar el límite establecido para que tal aceleración se catalogue de alta intensidad, mientras que este hecho resulta más fácil cuando la aceleración se inicia desde parado (Dwyer y Gabbet, 2012; Haugen y Buchheit, 2016; Sonderegger *et al.*, 2016; Varley y Aughey, 2013). Por otro lado, en nuestro estudio encontramos diferencias en las DE entre los umbrales absolutos y relativos (30.8 ± 8.6 y 17.7 ± 13.9 , 1.3 ± 1.3 y 6.0 ± 5.0 , 0.0 ± 0.0 y 0.5 ± 0.8 , para los umbrales absolutos y relativos en S1, S2 y S3, respectivamente). Considerando las diferencias substanciales encontradas entre algunas demarcaciones de juego usando los umbrales relativos, es posible que el promedio total del número de esfuerzos de alta aceleración pudiera ser el motivo por el cual encontramos estos valores de DE.

6.4.1. Conclusiones.

El método basado en umbrales relativos individualizados a la máxima capacidad de acelerar, en función a la velocidad inicial, ofrece una importante información para la valoración de las aceleraciones en fútbol (partidos o entrenamientos). Este enfoque podría permitir a los entrenadores la creación de perfiles acordes a las características individuales de cada jugador según su demarcación, edad o nivel competitivo; lo cual resulta de gran importancia para: el diseño de estrategias dirigidas a la mejora de la capacidad de acelerar específica de las demandas del partido y reducir el riesgo de lesión, la evaluación las prestaciones realizadas en la competición, y para el empleo de diferentes estrategias para la recuperación después de partidos o entrenamientos. En este sentido, este es el primer método en evaluar la aceleración en el fútbol considerando la capacidad máxima de aceleración según la velocidad inicial previa. Comparado con los umbrales estándares absolutos empleados hasta la fecha, hemos observado como el número de aceleraciones fue sobreestimado cuando las aceleraciones comenzaron desde S1 y subestimado cuando se iniciaron desde S2 y S3. Por tanto, esta propuesta podría ser una buena opción para los entrenadores con el objetivo de conseguir una información más precisa sobre las demandas de aceleración. La falta de estudios previos en jóvenes jugadores no nos ha permitido comparar con otros trabajos similares. Sin embargo, hemos encontrado diferencias con los jugadores de élite, lo cual es de gran importancia a la hora de adaptar el programa de entrenamiento a la especificidad del equipo en función a su nivel competitivo o edad.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES.



7. Conclusiones generales.

A raíz de los hallazgos encontrados en los estudios realizados en esta tesis doctoral y en función a los trabajos publicados en la literatura, hemos podido analizar los diferentes esfuerzos a los que están expuestos nuestros jugadores durante un encuentro de fútbol. Estas demandas varían en función de los roles específicos de cada futbolista en función a la posición de juego que ostenta, nivel competitivo o edad. Las exigencias de movimiento a alta intensidad han sido demostradas ser de gran relevancia en las acciones más cruciales del partido. El método tradicional de evaluación de las acciones a alta intensidad en espacios cortos conlleva la problemática de no considerar la magnitud de la aceleración, ya que solo valora la velocidad del desplazamiento, pudiendo obviar muchas acciones que se desarrollan en el partido (o entrenamiento) a una velocidad de carrera baja pero a una intensidad alta.

En los últimos años han aparecido diferentes propuestas para el estudio de este tipo de acciones intentando solventar esta problemática y conocer con mayor precisión las exigencias a las que están expuestos los jugadores como la potencia metabólica, umbrales individuales a cada jugador en función a su capacidad máxima de acelerar y/o atendiendo a la velocidad inicial previa a la aceleración.

Las conclusiones de nuestros estudios son:

Estudio 1: The use of metabolic power to assess the physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running?

- ✓ El uso de la PM no difiere del método tradicional a través de la velocidad de carrera para la valoración de los patrones de actividad en fútbol, especialmente a alta intensidad, en función a las diferentes posiciones de juego.

Estudio 2: Individualized thresholds to analyse the acceleration demands in soccer players using GPS.

- ✓ Las características de las aceleraciones difieren notablemente entre las posiciones de juego cuando la velocidad inicial previa a la aceleración y la velocidad final de carrera son consideradas, tanto en número, distancia, como en porcentaje de la aceleración máxima.
- ✓ La mayor cantidad de aceleraciones (>50% de la aceleración máxima) durante un partido de fútbol se inician desde parado o a baja velocidad, siendo muy escasas el número de aceleraciones que comienzan a más de 13 km·h⁻¹ y prácticamente ninguna cuando la velocidad es superior a 13 km·h⁻¹.

Estudio 3: Use of individual relative thresholds to assess acceleration in young soccer players according to initial speed.

- ✓ Los umbrales de aceleración relativos individualizados a cada sujeto en función a su capacidad máxima de acelerar a diferentes velocidades iniciales permiten diferenciar entre los perfiles de aceleración a alta intensidad según la velocidad inicial y las posiciones de juego.
- ✓ El uso de umbrales absolutos para evaluar el número de aceleraciones a alta intensidad sobreestima las demandas reales de aceleración comparado con los umbrales relativos (considerando la velocidad inicial) cuando la velocidad previa a la aceleración es baja o desde parado (0-7 km·h⁻¹), mientras que lo subestima cuando la velocidad inicial es superior a 7.1 km·h⁻¹.

7.1. Main Conclusions.

As a result of the findings found by the studies carried out in this doctoral thesis and in the scientific literature, we have been able to analyse the different efforts to which players are exposed during a soccer match. These demands vary depending on the specific roles of each player based on their playing positions, competitive level or age. The locomotor demands at high intensity have been shown to be of great relevance in the most

crucial actions in soccer. The traditional method of assessing high intensity actions over short distances had the problem of not considering the magnitude of acceleration, since it only assesses the speed of displacement, being able to obviate many actions that are developed during a match (or training) at a low running speed and which are high intensity efforts.

In recent years, different proposals for the study of this sort of actions have appeared, trying to solve this problem and determine with greater accuracy the requirement to which soccer players are exposed, such as metabolic power, individual thresholds for each player according to their capacity maximum and/or attending to the initial speed prior to acceleration.

The conclusions of our studies are:

Study 1: The use of metabolic power to assess the physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running?

- ✓ The use of metabolic power does not differ from the traditional method through speed running for the assessment of soccer activity patterns, especially at high intensity, in the different playing positions.

Study 2: Individualised thresholds to analyse the acceleration demands in soccer players using GPS.

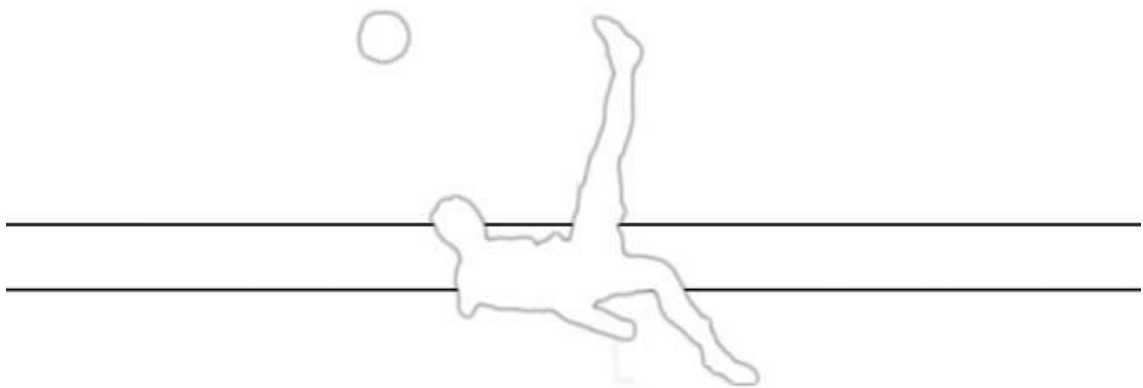
- ✓ The characteristics of the accelerations differ markedly between the playing positions when the initial speed before acceleration and the final speed of displacement are considered, both in number, distance, and percentage of maximum acceleration.
- ✓ The greatest number of accelerations (>50% of maximum acceleration) during a soccer match start from a standing or low speed, with very few accelerations starting at greater than $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ and practically none when the speed is greater than $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Study 3: Use of individual relative thresholds to assess acceleration in young soccer players according to initial speed.

- ✓ The relative acceleration thresholds individualised to each subject according to their maximum capacity to accelerate at different initial speeds allow differentiation between the acceleration profiles at high intensity according to the initial speed and playing positions.
- ✓ The use of absolute thresholds to evaluate the number of accelerations at high intensity overestimates the acceleration efforts compared to the relative thresholds (considering the initial speed) when the speed prior to acceleration is low or standing ($0\text{--}7\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), while underestimating it when the initial speed is greater than $7.1\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

CAPÍTULO 8

LIMITACIONES DE LA TESIS.



8. Limitaciones de la tesis.

8.1. Limitaciones estudio 1.

Nuestro estudio tuvo algunas limitaciones que deberían ser consideradas. Para la comparación entre ambos métodos de análisis (PM y velocidad de carrera), aplicamos el umbral utilizado anteriormente por otros autores de $20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ como equivalente a $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para comparar ambos métodos. Sin embargo, en las otras categorías de intensidad, la relación equivalente entre $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ es desconocida. Decidimos utilizar las mismas categorías usadas en estudios previos los cuales han utilizado la PM y la velocidad carrera para evaluar las demandas físicas en fútbol. Se agregó una categoría suplementaria en la PM para poder compararla con la velocidad de desplazamiento (6vs6). Pensamos que era más adecuado comparar entre ambos modelos a baja intensidad, ya que sería más interesante saber que ocurre a una velocidad baja, la cual acontece con mayor frecuencia a lo largo de un partido e incluye cambios más bruscos en la velocidad que una alta velocidad de carrera, tal y como indican Bradley *et al.* (2010). En el futuro, más investigaciones deberían llevarse a cabo con respecto a la PM y las diferentes categorías de intensidad. Además, se ha demostrado que los dispositivos GPS muestran una gran variabilidad con respecto a los valores de aceleración y desaceleración. Del mismo modo, las mejoras en los GPS, sistemas eléctricos de rastreo y video serán indispensables para entender las demandas energéticas durante la práctica del fútbol con mayor fiabilidad y validez.

8.2. Limitaciones estudio 2.

Los hallazgos presentados en este trabajo podrían estar limitados por el hecho de haber sido recogidos durante partidos amistosos y por registrar solo la primera parte de encuentro. Debido a la prohibición del uso de dispositivos GPS en partidos oficiales en

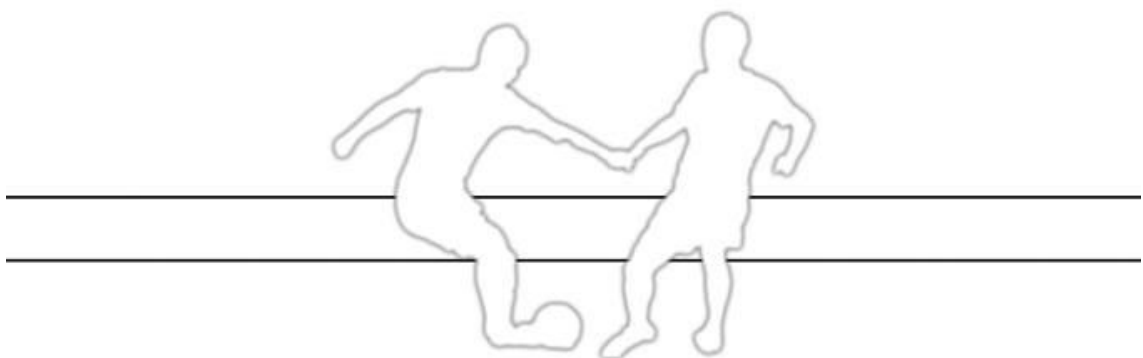
el momento en el que fueron tomados los datos, no fue posible el registro de partidos oficiales en lugar de amistosos. Los encuentros de estas características son llevados a cabo normalmente durante el periodo de pretemporada. Esto hace que en la segunda parte suele haber muchas substituciones. Debido a esto, solo pudimos monitorizar los primeros 45 min de cada partido para garantizar la igualdad de condiciones. Podría haber un error en la precisión de la medida de todas las aceleraciones máxima debido a que en A1, la aceleración podría comenzar tanto desde parado ($0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) como a $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Cuando se registra la máxima aceleración en un test de velocidad máxima de 40 m, estos valores se consiguen siempre desde parado ($0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), lo cual puede no ser totalmente representativo de la capacidad de aceleración iniciando desde otra velocidad de carrera (Sonderegger *et al.*, 2016). Igualmente, podríamos estimar un error en la aceleración máxima si consideramos que durante un partido el jugador puede mantenerse varios segundos a una velocidad antes de acelerar, cuando nuestra propuesta de medición de la aceleración máxima es siempre ascendente hasta lograr el máximo. Con todo ello, esta propuesta de evaluación de los diferentes tipos de aceleración garantiza que la evaluación de A1, A2, A3 y A4 obtendrán el máximo registro de cada jugador para cada criterio diferente establecido.

8.3. Limitaciones estudio 3.

Esta investigación tuvo algunas limitaciones que deberían ser consideradas. En primer lugar, los umbrales individuales empleados con cada jugador correspondieron a un test inicial. Sin embargo, la máxima capacidad de acelerar podría cambiar a lo largo de la temporada. Además, los resultados podrían estar condicionados por el momento específico del test. Habría que añadir también la gran variabilidad que han mostrado los dispositivos GPS para la valoración de aceleraciones y desaceleraciones (Buchheit *et al.*, 2014a; Hoppe *et al.*, 2017). En el futuro, las mejoras en los dispositivos GPS, al igual que en otros sistemas de análisis, serán indispensables para lograr un mejor entendimiento de las demandas de aceleración durante la práctica del fútbol, logrando una mejor validez y fiabilidad en los resultados.

CAPÍTULO 9

APLICACIONES PRÁCTICAS



9. Aplicaciones prácticas.

El conocimiento detallado de las exigencias a las que están expuestos los jugadores durante la competición supone el punto de partida para el diseño de estrategias encaminadas a mejorar su rendimiento y reducir el riesgo de lesión. Dentro de la enorme diversidad de acciones locomotoras que se desarrollan durante un partido, las actividades de alta intensidad han centrado la atención de entrenadores e investigadores, ya que éstas participan en los momentos más cruciales y determinantes del juego. Conseguir alcanzar la máxima velocidad en el menor tiempo posible puede ayudar a lograr el éxito en muchas circunstancias. Dicho esto, un estudio descriptivo de cómo suceden estas acciones en función a las posiciones de juego, edad y nivel competitivo podría ofrecer una valiosa información para los técnicos y científicos de este campo.

Las conclusiones que hemos mencionado previamente tienen como principal objetivo tratar de responder a problemas prácticos y reales que surgen del análisis de las demandas de movimiento. La monitorización de la actividad realizada por los jugadores es una tarea llevada a cabo de forma diaria en el mundo profesional, además de ser de gran relevancia para el desarrollo de propuestas de trabajo tanto en jugadores de élite como en categorías inferiores.

A lo largo de esta tesis doctoral hemos planteado una serie de propuestas en base a estudios previos encaminadas a profundizar más en el estudio de las aceleraciones en el fútbol. En función de los resultados obtenidos, pensamos que las conclusiones aportadas pueden tener una utilidad práctica bastante notable para los trabajadores que se dediquen al estudio, análisis y diseño de entrenamientos o partidos de fútbol, ofreciendo una nueva perspectiva sobre las características de este tipo de acciones.

En este sentido, hemos visto como la PM es un método bastante utilizado para la cuantificación de la carga de entrenamiento en el fútbol profesional según estudios previos. No obstante, en base a nuestros resultados y las referencias encontradas en la literatura, no hemos apreciado diferencias entre el uso de la PM y en análisis a través de la velocidad de carrera. Únicamente han aparecido diferencias a media-baja intensidad

entre ambos métodos de evaluación. Sin embargo hacen falta futuros estudios que valoren diferentes actividades a esta intensidad para conocer de forma más precisa qué sucede empleando ambos métodos. A nuestros resultados habría que añadir la gran cantidad de investigaciones previas que cuestionan el uso de la PM como método de evaluación en fútbol. Por tanto, los técnicos deberían tomar con cautela su empleo para la cuantificación de los esfuerzos.

Por otro lado, hemos presentado un estudio descriptivo de las exigencias de aceleración de una forma más precisa y concreta que las realizadas hasta ahora. En base a los datos obtenidos, podemos entender las características de las aceleraciones a moderada y alta intensidad en función a las posiciones de juego y edad o nivel de los participantes. Esto resulta de gran utilidad para el diseño de tareas encaminadas a mejorar esta capacidad, ya que nos permite entrenarla de una forma más específica que antes, donde se desconocían dos hechos de vital importancia: la velocidad previa a la aceleración y la velocidad final alcanzada para cada demarcación de juego.

Además, los valores de referencia obtenidos se han logrado gracias a la aplicación de umbrales específicos e individualizados a cada sujeto, lo cual conlleva un aumento en la fiabilidad de los mismos. Conociendo el número de aceleraciones, porcentaje de aceleración máxima y la distancia acelerando, podremos crear perfiles personalizados y diseñar programas de entrenamiento más específicos a cada jugador en función a sus características propias (figuras 21 y 22). Hasta ahora, la mayoría de los estudios que han valorado las aceleraciones en fútbol lo han hecho mediante umbrales absolutos, independientemente del nivel o edad del sujeto. Nuestros resultados han mostrado que estos pueden subestimar o sobreestimar el grado de esfuerzo real. Por tanto recomendamos encarecidamente el uso de umbrales individuales adaptados a la capacidad de acelerar de cada sujeto en función a diferentes velocidades previas de carrera. Esto nos aportarán un grado de especificidad más elevado para el estudio de estas acciones, independientemente del grupo de trabajo con el que estemos, resultando de gran utilidad para entrenadores y preparadores físicos a la hora de diseñar futuros programas de entrenamiento con el objetivo de optimizar el rendimiento, recuperarse lo antes posible de los esfuerzos y reducir la probabilidad de lesión a través de la creación de perfiles de actividad por cada deportista.

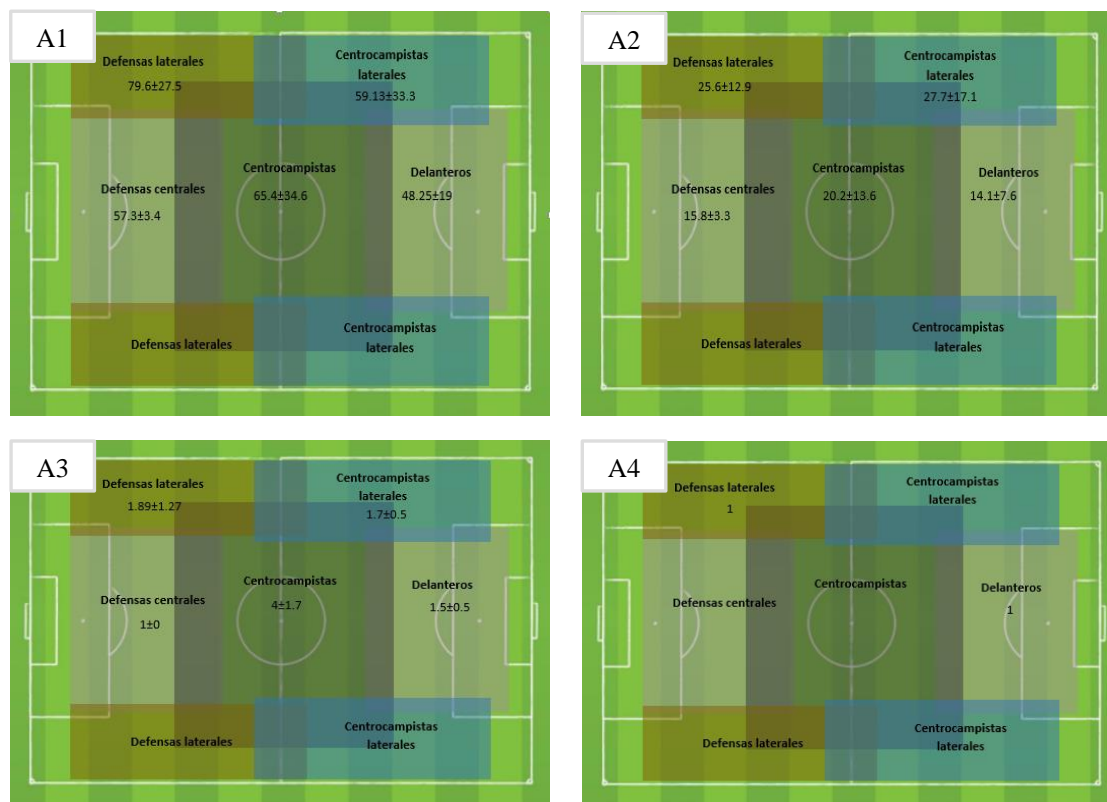


Figura 21. Perfiles de aceleración (número) (>50% de la aceleración máxima) en las categorías A1, A2, A3 y A4 según las posiciones de juego en jugadores semiprofesionales. ***NOTA:** A1: aceleración que inicia desde 0 a 13 km·h⁻¹ y que no alcanza los 18 km·h⁻¹; A2: aceleración que inicia desde 0 a 13 km·h⁻¹ y que alcanza los 18 km·h⁻¹; A3: aceleración que inicia desde 13 a 18 km·h⁻¹; A4: aceleración que inicia a >18 km·h⁻¹.

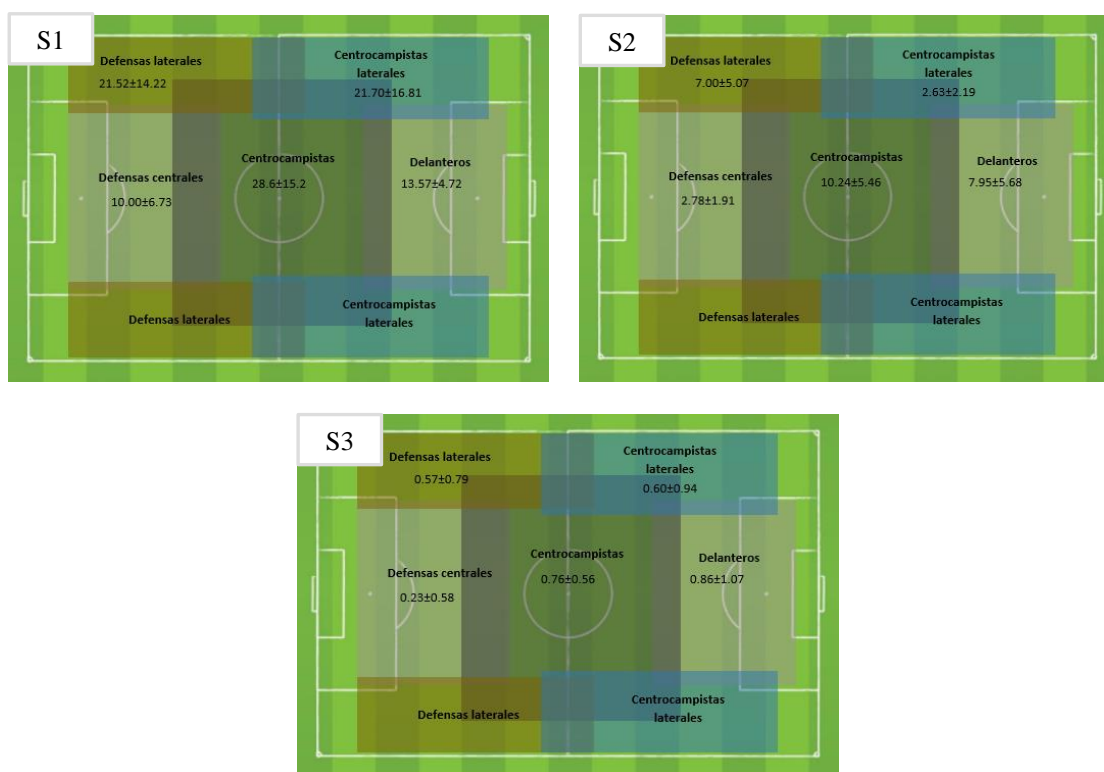
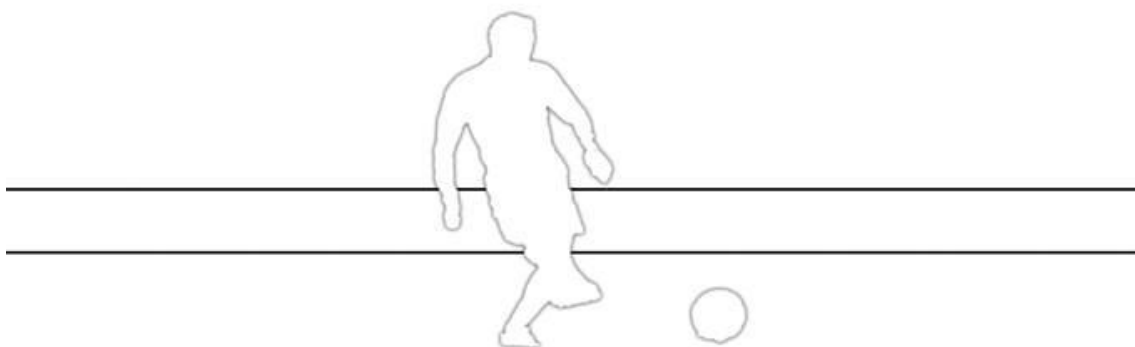


Figura 22. Perfiles de aceleración (número) (>75% de la aceleración máxima) en las categorías S1, S2 y S3 según las posiciones de juego en jóvenes futbolistas. *NOTA: S1: aceleración que inicia desde 0 a 7 km·h⁻¹; S2: aceleración que inicia desde 7.1 a 14 km·h⁻¹; S3: aceleración que inicia a ≥14.1 km·h⁻¹.

CAPÍTULO 10

PERSPECTIVAS DE FUTURO.



10. Perspectivas futuras.

A lo largo de esta tesis doctoral hemos visto como el análisis de los patrones de movimiento en fútbol han evolucionado notablemente en las últimas décadas, mejorando tanto los sistemas de registro como los métodos empleados para facilitar el entendimiento de las exigencias a las que están expuestos los jugadores de fútbol durante un partido.

Conocer las demandas de competición de una forma precisa facilita el desarrollo de programas de entrenamientos encaminados a lograr el máximo potencial del futbolista y reducir el riesgo de sufrir lesión. Por tanto, a raíz de estos análisis, se derivarán las consecuentes estrategias dirigidas a tal fin, por lo que es primordial conocer qué sucede realmente en competición.

Uno de los objetivos de esta tesis ha sido facilitar el entendimiento de las acciones que suceden a una velocidad de carrera baja o media, las cuales habían sido consideradas principalmente como actividades a baja o media intensidad. Sin embargo, siguiendo con las conclusiones encontradas en la literatura científica y los resultados de nuestros estudios, entendemos que, por las características del fútbol, existen una gran cantidad de acciones que se dan a baja velocidad pero son de alta intensidad, como es el caso de las aceleraciones. Además, muchas de ellas están implicadas en acciones que pueden resultar determinantes para el resultado.

A raíz de las investigaciones aquí presentadas y las conclusiones aportadas, se abre una nueva línea de investigación en cuanto al estudio de las características de las aceleraciones, a través de la cual se pueden valorar estas acciones en diferentes grupos atendiendo a su edad, género y nivel competitivo. Al mismo tiempo, una vez comprendida las exigencias de la competición, existe al mismo tiempo la necesidad de valoración de ejercicios de entrenamiento, los cuales habían sido evaluados hasta la fecha mediante otros métodos probablemente no tan precisos y descriptivos como los aquí presentados.

Centrándonos en el uso de la PM, son necesarias futuras investigaciones que certifiquen, o no, la validez y fiabilidad del método debido a la falta de consenso en la

literatura científica en este aspecto y a la similitud de resultados con la valoración de las demandas de desplazamiento a través de la velocidad de carrera. Más concretamente, y según nuestros resultados, sería interesante estudiar con más detalle aquellas acciones que ocurren a baja-media velocidad de carrera, tanto en partidos como entrenamientos, en las cuales hemos apreciado diferencias en nuestro estudio. Además, los resultados de los estudios 2 y 3 nos han mostrado como las aceleraciones se desarrollan principalmente a estas velocidades de carrera, lo cual argumenta más aún nuestra idea.

Los estudios 2 y 3 nos han ofrecido una descripción detallada de las características de las aceleraciones en función a la posición del jugador. El conocimiento de las características de las aceleraciones individualizadas a la capacidad de acelerar de cada sujeto a diferentes velocidades previas y conocer la magnitud de las mismas en cuanto a su número, distancia acelerando, así como las velocidades iniciales como las finales que se alcanzan, ofrecerá una información muy valiosa tanto a entrenadores como científicos que pretendan profundizar en el estudio de esta variable. En este sentido, es necesario seguir profundizando en las características de estas acciones tanto en partidos completos como entrenamientos, diferentes edades, géneros y niveles competitivos. Esto sería, sin duda, un gran avance que facilitaría el diseño de programas de entrenamiento dirigido a mejorar las prestaciones de los jugadores de fútbol, ayudar a desarrollar el potencial de los/las jóvenes futbolistas y reducir el riesgo de lesión.

REFERENCIAS

- Abt, G., y Lovell, R. (2009). The use of individualized speed and intensity threshold for determining the distance run at high-intensity in professional soccer. *Journal of Sports Sciences*, 27(9), 893-898.
- Ade, J., Harley, J., y Bradley, P. (2014). Physiological response, time-motion characteristics, and reproducibility of various speed-endurance drills in elite youth soccer players: small-sided games versus generic running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 471-479.
- Akenhead, R., French, D., Thompson, K., y Hayes, P. (2014). The acceleration dependent validity and reliability of 10 Hz GPS. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(5), 562-566.
- Akenhead, R., Hayes, P., Thompson, K., y French, D. (2013). Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 556-561.
- Akenhead, R., y Nassis, G. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 587-593.
- Alentorn-Geli, E., Myer, G., Silvers, H., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., y Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatologic, Arthroscopy: official Journal of the ESSKA*, 17(7), 705-729.
- Andersson, H., Ekblom, B., y Krstrup, P. (2008). Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. *Journal of Sports Sciences*, 26(2), 113-122.
- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y., y Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 951-960.

- Ardigò, L., Lafortuna, C., Minetti, A., Mognoni, P., y Saibene, F. (1995). Metabolic and mechanical aspects of foot landing type, forefoot and rearfoot strike, in human running. *Acta Physiologica Scandinavica*, 155(1), 17-22.
- Arruda, A., Carling, C., Zanetti, V., Aoki, M., Coutts, A., y Moreira, A. (2015). Effects of a very congested match schedule on body-load impacts, accelerations, and running measures in youth soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(2), 248-252.
- Aughey, R. (2010). Australian football player work rate: evidence of fatigue and pacing? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 394-405.
- Aughey, R. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 295-310.
- Ballesta, C., García, J., Fernández, J., y Alverjo, J. (2015). Métodos actuales de análisis de partidos de fútbol. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 16(60), 785-803.
- Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer: with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 619, 1-155.
- Bangsbo, J., Iaia, M., y Krstrup, P. (2007). Metabolic response and fatigue in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(2), 111-127.
- Bangsbo, J., Mohr, M., y Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665-674.
- Bangsbo, J., Norregaard, L., y Thorso, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sports Sciences*, 16(2), 110-116.
- Barbero-Álvarez, J., Soto, V., y Granda, J. (2005). Diseño, desarrollo y validación de un sistema fotogramétrico para la valoración cinemática de la competición en

deportes de equipo. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 13, 145-160.

Barbero-Álvarez, J., Boullosa, D., Nakamura, F., Andrín, G., y Weston, M. (2014). Repeated acceleration ability (RAA): a new concept with referente to to-level field and assistant soccer referees. *Asian Journal of Sports Medicine*, 5(1), 63-66.

Barnes, C. (2006). Soccer. En Winter, E, Jones, A., Davison, R., Bromley, P., y Mercer, T. *Sport and exercise physiology testing guidelines: Sport testing* (pp. 243-245). Abingdon, Reino Unido: Routledge.

Barreira, P., Robinson, M., Drust, B., Nedergaard, N., Raja, R., y Vanrenterghem, J. (2017). Mechanical player load™ using trunk-mounted accelerometry in football: Is it a reliable, task-and player-specific observation? *Journal of Sports Sciences*, 35(17), 1674-1681.

Barron, D., Atkins, S., Edmundson, C., y Fewtrell, D. (2014). Accelerometer derived load according to playing position in competitive youth soccer. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(3), 734-743.

Barron, D., Atkins, S., Edmundson, C., y Fewtrell, D. (2016). Repeated acceleration activity in competitive youth soccer. *Central European Journal of Sports Sciences and Medicine*, 14(2), 55-61.

Barros, R., Misuta, M., Menezes, R, Figueroa, P., Moura, F., Cunha, S., Anido, R., y Leite, N. (2007). Analysis of the distances ccovered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(2), 233-242.

Bastida, A., Gómez, C., de la Cruz, E., y Pino-Ortega, J. (2018). Accuracy, intre- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time-motion analyses in soccer. *European Journal of Sport Sciences*, 18(4), 450-457.

- Batterham, A. M., y Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(1), 50–57.
- Beenham, M., Barron, D., Fry, D., Hurst, H., Figueirido, A., y Atkins, S. (2017). A comparison of GPS workload demands in match play and small-sided games by the positional role in youth soccer. *Journal of Human Kinetics*, 57, 129-137.
- Bloomfield, J., Polman, R., y O'Donoghue, P. (2007a). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(1), 63-70.
- Bloomfield, J., Polman, R., y O'Donoghue, O. (2007b). Deceleration movements performed during FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(10), 6.
- Bloomfield, J., Polman, R., y O'Donoghue, O. (2007c). Turning movements performed during FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(10), 9-10.
- Bobbert, M., Schamhardt H. C., y Nigg B.M. (1991). Calculation of vertical ground reaction force estimates during running from positional data. *Journal of Biomechanics*, 24(12), 1095-1105.
- Boullosa, D., Abreu, L., Nakamura, F., Muñoz, V., Domínguez, R., y Leicht, A. (2013). Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(4), 400-409.
- Boyd, L., Ball, K., y Aughey, R. (2011). The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 311-321.
- Bradley, P., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Dodds, A., Di Mascio, M., Paul, D., Díaz, A., Peart, D., y Krstrup, P. (2011). The effect of playing formation on high-

- intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 29(8), 821-830.
- Bradley, P., Dellal, A., Mohr, M., Castellano, J., y Wilkie, A. (2014). Gender differences in match performance characteristics of soccer players competing in the UEFA Champions League. *Human Movement Science*, 33, 159-171.
- Bradley, P., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P., y Sheldon, B. (2010). High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2343-2351.
- Bradley P, Sheldon W, Wooster B, Olsen P, Boanas P, y Krusturup P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 159-168.
- Bradley, P., y Noakes, T. (2013). Match running performance fluctuations in elite soccer: indicative of fatigue, pacing or situational influences? *Journal of Sports Sciences*, 31(15), 1627-1638.
- Brown, D., Dwyer, D., Robertson, S., y Gatin, P. (2016). Metabolic power method: underestimation of energy expenditure in field-sport movements using a Global Positioning System tracking system. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(8), 1067-1073.
- Brueckner, J., Atchou, G., Capelli, C., Duvallet, A., Barrault, D., Joussetin, E., Rieu, M., y Di Prampero, P. (1991). The energy cost of running increases with the distance covered. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 62(6), 385-389.
- Buchheit, M., Al Haddad, H., Simson, B., Palazzi, D., Bourdon, P., Di Salvo, V., y Méndez-Villanueva, A. (2014a). Monitoring accelerations with GPS in football: time to slow down? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 442-445.

- Buchheit, M., Allen, A., Poon, T., Modonutti, M., Gregson, W., y Di Salvo, V. (2014b). Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1844-1857.
- Buchheit, M., y Laursen, P. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, 43(5), 313-338.
- Buchheit, M., Manouvrier, C., Cassirame, J., y Morin, J. (2015). Monitoring locomotor load in soccer: is metabolic power, powerful? *International Journal of Sports Medicine*, 36(14), 1149-1155.
- Buchheit, M., Méndez-Villanueva, A., Simpson, B. y Bourdon, P. (2010a). Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 709-716.
- Buchheit, M., Méndez-Villanueva, A., Simpson, B., y Bourdon, P. (2010b). Match running performance and fitness in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 818-825.
- Buchheit, M., Modunotti, M., Stafford, K., Gregson, W., y Di Salvo, V. (2018). Match running performance in professional soccer players: effect of match status and goal difference. *Sport Performance and Science Reports*, 21(1), 1-3.
- Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J., Bourdon, P., Voss, S., Hocking, J., Cordy, J., Méndez-Villanueva, A., y Coutts, A. (2013b). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 550-555.
- Buchheit, M., Simpson, B., y Méndez-Villanueva, A. (2013a). Repeated high-speed activities during youth soccer games in relation to changes in maximal sprinting and aerobic speeds. *International Journal of Sports Medicine*, 34(1), 40-48.

- Buchheit, M., Simpson, B., Peltola, E., y Méndez-Villanueva, A. (2012). Assessing maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(1), 76-78.
- Burgess, D., Naughton, G., y Norton, K. (2006). Profile of movement demands of national football players in Australia. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(4), 334-341.
- Carling, C. (2010). Analysis of physical activity profiles when running with the ball in professional soccer team. *Journal of Sports Science*, 28(3), 319-326.
- Carling, C. (2011). Influence of opposition team formation on physical and skill-related performance in a professional soccer team. *European Journal of Sport Science*, 11(3), 155-164.
- Carling, C., y Bloomfield, J. (2010). The effect of an early dismissal on player work-rate in a professional soccer match. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 126-128.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., y Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer; contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Medicine*, 38(10): 839-862.
- Carling, C., Bradley, P., McCall, A., y Dupont, G. (2016). Match-to-match variability in high-speed running activity in a professional soccer team. *Journal of Sports Sciences*, 34(24), 2215-2223.
- Carling, C., y Dupont, G. (2011). Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play? *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 63-71.
- Carling, C., Dupont, G, y Le Gall, F. (2011). The effect of a cold environment on physical activity profiles in elite soccer match-play. *International Journal of Sports Medicine*, 32(7), 542-545.

- Carling, C., Espi  , V., Le Gall, F., Bloomfield, J., y Jullien, H. (2010b). Work-rate substitutes in elite soccer: a preliminary study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 253-255.
- Carling, C., Gall, F., y Reilly, T. (2010a). Effects of physical efforts on injury in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(3), 180-185.
- Carling, C., Williams, A., y Reilly, T. (2005). *The handbook of soccer match analysis: a systematic approach to improving performance* (pp. 2, 4, 6, 10, 12, 28-29, 37, 39, 42-43, 88-90, 92-94, 96, 98-100). London, Reino Unido: Routledge.
- Casamichana, D., Bradley, P., y Castellano, J. (2018). Influence of varied pitch shape on soccer players physiological responses and time-motion characteristics during small-sided games. *Journal of Human Kinetics*, ahead of print.
- Casamichana, D., y Castellano, J. (2010). Time-motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sided soccer games: effects of pitch size. *Journal of Sports Sciences*, 28(14), 1615-1623.
- Casamichana, D., Castellano, J., Blanco-Villaseñor, A., y Usabiaga, O. (2012b). Estudio de la percepción subjetiva del esfuerzo en tareas de entrenamiento en fútbol a través de la teoría de la generalizabilidad. *Revista de Psicología del Deporte*, 21(1), 35-40.
- Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-Gonzalez, J., San Román, J., y Castagna, C. (2013). Relationship between indicators of training load in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 369-374.
- Casamichana, D., Castellano, J., y Castagna, C. (2012a). Comparing the physical demands of friendly matches and small-sided games in semiprofessional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 837-843.
- Casamichana, D., Román-Quintana, J., Castellano, J., y Calleja-González, J. (2015). Influence of the type of marking and the number of players on physiological and

- physical demands during sided games in soccer. *Journal of Human Kinetics*, 47, 259-268.
- Castagna, C., D'Ottavio, S., y Abt, G. (2003). Activity profile of young soccer players during actual match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 775-780.
- Castagna, C., Impellizzeri, F., Cecchini, E., Rampinini, E., y Barbero-Álvarez, J. (2009). Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 1954-1959.
- Castagna, C., Varley, M., Povoas, S., y D'Ottavio, S. (2017). Evaluation of the match external load in soccer: methods comparison. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 490-495.
- Castellano, L., y Almeda, J. (2001). *Entrenamiento del fútbol base según la esencia del juego* (pp.14). Sevilla, España: Wanceulen.
- Castellano, J., Álvarez, D., Bradley, P. (2014). Evaluation of research using computerised tracking systems (Amisco and Prozone) to analyse physical performance in elite soccer: a systematic review. *Sports Medicine*, 44(5), 701-712.
- Castellano, J., y Casamichana, D. (2013). Differences in the number of accelerations between small-sided games and friendly matches in soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(1), 209-210.
- Castellano, J., y Casamichana, D. (2014). Deporte con dispositivos de posicionamiento global (GPS): aplicaciones y limitaciones. *Revista de Psicología del Deporte*, 23(2), 355-364.
- Castellano, J., y Casamichana, D. (2016). *El arte de planificar en el fútbol* (pp. 23, 37, 46, 48, 59, 65, 67-68, 77-78, 84, 109, 139). España: FútbolDlibro.

- Castellano, J., Casamichana, D., Calleja-Gonzalez, J., San Román, J., y Ostojic, S. (2011). Reliability and accuracy of 10 Hz GPS devices for short-distance exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(1), 233-234.
- Castellano, J., Casamichana, D., y Dellal, A. (2013). Influence of game format and number of players on heart rate responses and physical demands in small-sided soccer games. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1295-1303.
- Coe, D., y Pivarnik, J. (2001). Validation of the CSA accelerometer in adolescent boys during basketball practice. *Pediatric Exercise Science*, 13(4), 373-379.
- Cohen J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd Edition) (pp. 24-26). Londres, Reino Unido: Academic Press INC.
- Colby, M., Dawson, B., Heasman, J., Rogalski, B., y Gabbett, T. (2014). Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian footballers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(8), 2244-2252.
- Coutts, A. J., y Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 133–135.
- Coutts, A., Kempton, T., Sullivan, C., Bilsborough, J., Cordy, J., y Rampinini, E. (2014). Metabolic power and energetic costs of professional Australian football match-play. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(2), 219-224.
- Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., y West, C. (2013). Global Positioning Systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine*, 43(10), 1025-1042.
- Dalen, T., Ingebrigtsen, J., Ettema, G., Hjelde, G., y Wilsoff, U. (2016). Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of elite soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 351-359.

- Dawson, B., Hopkinson, R., Appleby, B., Stewart, G., y Roberts, C. (2004). Comparison of training activities and game demands in the Australian Football League. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(3), 293-301.
- De Cotta, I. (2013). Football, the hith-tech way. *We set you thinking TODAY*. Recuperado de <http://www.todayonline.com/sports/football/football-high-tech-way> el 08/12/2017.
- De Hoyo, M., Sañudo, B., Suarez-Arrones, L., Joel, T., Domínguez-Cobo, S., y Núñez, F. (2017). Analysis of the acceleration profile according to initial speed and positional role in elite professional male soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, ahead of print.
- Dellal, A., Chamari, K., Owen, A., Wong, D., Lago-Peñas, C., y Hill-Haas, S. (2011). Influence of technical instructions on the physiological and physical demands of small-sided soccer games. *European Journal of Sport Science*, 11(5), 341-346.
- Dellal, A., Wong, D., Moalla, W., y Chamari, K. (2010). Physical and technical activity of soccer players in the French First League – with special referente to their playing position. *International SportMed Journal*, 11(2), 287-290.
- Di Prampero, P., Botter, A., y Osgnach, C. (2015). The energy cost of sprint running and the role of metabolic power in setting to performances. *European Journal of Applied Physiology*, 115(3), 451-469.
- Di Prampero, P., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J., Belli, A., y Antonuto, G. (2005). Sprint running: a new energetic approach. *The Journal of Experimental Biology*, 208(Pt 14), 2809-2816.
- Di Salvo, V., Baron, R., González-Haro, C., Gormasz, C., Pigozzi, F., y Bachl, N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *Journal of Sports Sciences*, 28(14), 1489-1494.

- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderón, F., Bachl, N., y Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222-227.
- Di Salvo, V., Collins, A., McNeill, B., y Carginale, M. (2006). Validation of Prozone®: a new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(1), 108-119.
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., y Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30(3), 205-212.
- Dobson, B. y Keogh, J. (2007). Methodological issues for the application of time-motion analysis research. *Strength and Conditioning Journal*, 29(2), 48-55.
- D'Ottavio, S., y Castagna, C. (2001). Analysis of match activities in elite soccer referees during actual match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(2), 167-171.
- Drust, B., Atkinson, G., y Reilly, T. (2007). Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. *Sports Medicine*, 37(9), 783-805.
- Drust, B., y Green, M. (2013). Science and football: evaluating the influence of science on performance. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1377-1382.
- Drust, B., Rasmussen, P., Mohr, M., Nielsen, B., y Nybo, L. (2005). Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 183(2), 181-190.
- Duffield, R., Reid, M., Baker, J., y Spratford, W. (2010). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 523-525.

- Dufour W. (1993). Computer-assisted scouting in soccer. En T. Reilly, J. Clarys, y A. Stibbe (Eds.), *Science and Football II* (pp. 160-166). Londres, Reino Unido: Taylor & Francis.
- Duthie, G., Pyne, D., Marsh, D., y Hooper, S. (2006). Sprint patterns in rugby unión players during competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(1), 208-214.
- Dwyer, D., y Gabbett, T. (2012). Global positioning system data analysis: velocity ranges and a new definition of sprinting for field sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 818-24.
- Edgecomb, S. J. y Norton, K. I. (2006). Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1), 25-32.
- Ehrmann, F., Duncan, C., Sindhuase, D., Franzsen, W., y Greene, D. (2016). GPS and injury prevention in professional soccer. *Journal Strength and Conditioning Research*, 30(2), 360-367.
- Eklom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine*, 3(1), 50-60.
- Faude, O., Koch, T., y Meyer, T. (2012). Straight sprinting in the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625-631.
- Fédération Internationale de Football Association (FIFA). *Aprobación de dispositivos de seguimiento electrónico del rendimiento*. Circular nº 1494. Zúrich, Suiza.
- Fernandes, O., y Caixinha, P. (2003). A new method of time-motion analysis for soccer training and competition. Abstract en el 5th World Congress of Science and Football, Apr 11-15; Lisboa, Portugal.
- Fernandes, O., Caixinha, P., y Malta, P. (2007). Techno-tactics and running distance analysis by camera. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6 Suppl. 10, 204.

- Flanagan, T., y Merrick, E. (2002). Quantifying the workload of soccer players. En Spinks, W., Reilly, T., y Murphy, A. (Eds), *Science and Football IV* (pp. 3491-3349). London: Routledge.
- Ford, P., Carling, C., Garces, M., Marques, M., Miguel, C., Farrant, A., Stenling, A., Moreno, J., Le Gall, F., Holmstrom, S., Salmela, J., y Williams, M. (2012). The developmental activities of elite soccer players aged under-16 years from Brazil, England, France, Ghana, Mexico, Portugal and Sweden. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1653-1663.
- Frencken, W., Lemmink, K. y Delleman, N. (2010). Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 641-645.
- Frost, G., Dowling, J., Dyson, K., y Bar-Or O. (1997). Cocontraction in three age groups of children during treadmill locomotion. *Journal of Electromyography Kinesiology*, 7(3), 179-186.
- Gabbett, T., Kennelly, S., Sheehan, J., Hawkins, R., Milsom, J., King, E., Whiteley, R., y Ekstrand, J. (2016). If overuse injury is a training load error, should undertraining be viewed the same way? *Br J Sports Med*, 50(17), 1017-1018.
- Gabbett, T., y Mulvey, M. (2008). Time-motion analysis of small-sided training games and competition in elite women soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 543-552.
- Gabbett, T., y Wheeler, A. (2015). Predictors of repeated high-intensity-effort ability in rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(6), 718-724.
- Gaudino, P., Alberti, G., y Iaia, F. (2014c). Estimated metabolic and mechanical demands during different small-sided games in elite soccer players. *Human Movement Science*, 36, 123-133.

- Gaudino, P., Iaia, M., Alverti, G., Strudwick, A., Atkinson, G., y Gregson, W. (2013). Monitoring training in elite soccer players: systematic bias between running speed and metabolic power data. *International Journal of Sports Medicine*, 34(11), 963-968.
- Gaudino, P., Iaia, F., Alberti, G., Hawkins, R., Strudwick, A., y Gregson, W. (2014b). Systematic bias between running speed and metabolic power data in elite soccer players: influence of drill type. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 489-493.
- Gaudino, P., Iaia, F., y Gregson, W. (2014a). *Estimated metabolic power in elite soccer training* (pp. 1, 2, 3, 5, 10, 15, 16, 28, 47, 48). Saarbrücken: Scholar's Press.
- Gilbourne, D., y Richardson, D. (2005). A practitioner-focused approach to the provision of psychological support in soccer: adopting action research themes and processes. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 651-658.
- Girard, O., Méndez-Villanueva, A., y Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability – part I: factors contributing to fatigue. *Sports Medicine*, 41(8), 673-694.
- Gregson, W., Drust, B., Atkinson, G., y Di Salvo, V. (2010). Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(4), 237-242.
- Hader, K., Méndez-Villanueva, A., Palazzi, D., Ahmaidi, S., y Buchheit, M. (2016). Metabolic power requirement of change of direction speed in young soccer players: not all is what it seems. *PlosOne*, 11(3).
- Harley, J., Barnes, C., Portas, M., Lovell, R., Barrett, S., Paul, D., y Weston, M. (2010). Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *Journal of Sport Sciences*, 28(13), 1391-1397.
- Harley, J., Lovell, R., Barnes, C., Portas, M., y Weston, M. (2011). The interchangeability of global positioning system and semiautomated video-based performance data

- during elite soccer match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(8), 2334-2336.
- Haugen, T., Tonnessen, E., Hisdal, J., y Seiler, S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 432-441.
- Haugen, T., y Buchheit, M. (2016). Sprint running performance monitoring: methodological and practical considerations. *Sports Medicine*, 46(5), 641-656.
- Helgerud, J., Engen, L., Wisløff, U., y Hoff J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 33(11), 1925–1931.
- Hill-Haas, S., Coutts, A., Dawson, B., y Rowsell, G. (2010). Time-motion characteristics and physiological responses of small-sided games in elite youth players: the influence of player number and rule changes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 2149-2156.
- Hill-Haas, S., Dawson, B., Impellizzeri, F., y Coutts, A. (2011). Physiology of small sided games training in football: a systematic review. *Sports Medicine*, 41(3), 199-220.
- Hisey, S. (2014). *Comparison of the physical, physiological and perceptual demands of small-sided games and match play in professional football players*. Tesis doctoral: Edith Cowan University.
- Hodgson, C., Akenhead, R., y Thomas, K. (2014). Time-motion analysis of acceleration demands of 4vs4 small-sided soccer games played on different pitch sizes. *Human Movement Science*, 33, 25-32.
- Hopkins, W. (2004). How to interpret changes in an athletic performance test *Sportscience*, 8, 1-7.
- Hopkins, W. (2007). A spreadsheet to compare means of two groups. *Sportscience*, 11, 22–24.

- Hopkins W, Marshall S, Batterham A, y Hanin J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 41(1), 3-13.
- Hoppe, M., Baumgart, C., Polglaze, T., y Freiwald, J. (2018). Validity and reliability of GPS and LPS for measuring distances covered and sprint mechanical properties in team sports. *PLoS One*, 13(2).
- Hoppe, M., Baumgart, C., Slomka, M., Polglaze, T., y Freiwald, J. (2017). Variability of metabolic power data in elite soccer players during pre-season matches. *Journal of Human Kinetics*, 58, 233-245.
- Hulin, B., Gabbett, T., Caputi, P., Lawson, D., y Sampson, J. (2016). Low chronic workload and the acute:chronic workload ratio are more predictive of injury than between-match recovery time: a two-season prospective cohort study in elite rugby league players. *British Journal of Sports Medicine*, 50(16), 1008-1012.
- Hulin, B., Gabbett, T., Lawson, D., Caputi, P., y Sampson, J. (2015). The acute:chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *British Journal of Sports Medicine*, 50(4), 231-236.
- Hunter, F., Bray, J., Towlson, C., Smith, M., Barret, S., Madden, J., Abt, G., y Lovell, R. (2015). Individualisation of time-motion analysis: a method comparison and case report series. *International Journal of Sports Medicine*, 36(1), 41-48.
- Iaia, F., Fiorenza, M., Larghi, L., Alberti, G., Millet, G., y Girard, O. (2017). Short- or long-rest intervals during repeated-sprint training in soccer? *PLoS One*, 12(2).
- Iaia, F., Rampinini, R., y Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3), 291-306.
- Impellizzeri, F., Marcora, S., Castagna, C., Reilly, T., Sassi, A., Iaia, F., y Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 27(6), 483–492.

- Impellizzeri, F., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., Ferrari, D., Tibaudi, A., y Wisloff, U. (2008). Validity of a repeated-sprint test for football. *International Journal of Sports Medicine*, 29(11), 899-905.
- Impellizzeri, F., Rampinini, E., Coutts, A., Sassi, A., y Marcora, S. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 1042-1047.
- Impellizzeri, F., Rampinini, E., y Marcora, S. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 583-592
- Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, G., Drust, B., y Wisloff, U. (2015). Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *European Journal of Sport Sciences*, 15(2), 101-110.
- Inmotio. (2017). Local Position Measurement (LPM) technology is the world's most precise sports tracking system. *Inmotio.eu*. Recuperado de <http://www.inmotio.eu/en-GB/20/lpm-technology.html> el 08/12/2017.
- Jackson, N., Gutierrez, G., y Kaminski, T. (2009). The effect of fatigue and habituation on the stretch reflex of the ankle musculature. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(1), 75-84.
- Jastrzebski, Z., y Radziminski, L. (2015). Individual vs general time-motion analysis and physiological response in 4vs4 and 5vs5 small-sided soccer games. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(1), 397-341.
- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A., y Aughey, R. (2012). GPS analysis of an international field hockey tournament. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3), 224-231.
- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A., Boyd, L., y Aughey, R. (2010). The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 238-341.

- Johnston, R., Watsford, M., Pine, M., Spurrs, R., Murphy, A., y Pruyn, E. (2012). The validity and reliability of 5-Hz global positioning system units to measure team sport movement demands. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 758-765.
- Kelly, S., Murphy, A., Watsford, M., Austin, D., y Rennie, M. (2015). Reliability and validity of sports accelerometers during static and dynamic testing. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 106-111.
- Kirkendall, D. (2007). Issues in training the female player. *British Journal of Sports Medicine*, 41 Suppl. 1, 64-67.
- Kozey, S., Lyden, K., Howe, C., Staudenmayer, J., y Freedson, P. (2010). Accelerometer output and MET values of common physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(9), 1776-1784.
- Krasnoff, J., Kohn, M., Choy, F., Doyle, J., Johansen, K., y Painter, P. (2008). Interunit and intraunit reliability of the RT3 triaxial accelerometer. *Journal of Physical Activity and Health*, 5(4), 527-538.
- Krustrup, P., Mohr, M., y Bangsbo, J. (2002). Activity profile and physiological demands of top-class soccer assistant refereeing in relation to training status. *Journal of Sports Sciences*, 20(11), 861-871.
- Krustrup, P., Mohr, M., Ellingsgaard, H., y Bangsbo, J. (2005). Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(7), 1242- 1248.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjær, M., & Bangsbo, J. (2003). Muscle metabolites during a football match in relation to a decreased sprinting ability. Comunicación en el 5th World Congress of Soccer and Science, Lisboa, Portugal.

- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., y Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(6), 1165-1174.
- Lago-Peñas, C., Casais, L., Dominguez, E., y Sampaio, J. (2010). The effects of situational variables on distance covered at various speed in elite soccer. *European Journal of Sport Science*, 10(2), 103-109.
- Lago-Peñas, C., Rey, E., Lago-Ballesteros, J., Casais, L., y Domínguez, E. (2009). Analysis of work-rate in soccer according to playing positions. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 9(2), 218-227.
- Larsson P. (2003). Global positioning system and sport-specific testing. *Sports Medicine*, 33(15), 1093-1101.
- Lees, A., y Nolan, L. (1998). The biomechanics of soccer: a review. *Journal of Sports Sciences*, 16(3), 211-232.
- Le Gall, F., Carling, C., Reilly, T., Church, J., y Rochcongar, P. (2006). Incidence of injuries in elite French youth soccer players: a 10-season report. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(6), 928-938.
- Lejeune, R., Willems, P., y Heglund, N. (1998). Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *The Journal of Experimental Biology*, 201(13), 2071-2080.
- Little, T., y Williams, A. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 76-78.
- Lovell, R., y Abt, G. (2008). Individualization of time-motion analysis: a case-cohort example. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(4), 456-458.

- Luteberget, L., Spencer, M., y Gilgien, M. (2018). Validity of the Catapult ClearSky Local Positioning System for team sports specific drills, in indoor conditions. *Frontiers in physiology*, 4; 9, 115.
- Mallo, J., Navarro, E., García-Aranda, J., Gilis, B., y Helsen, W. (2007). Activity profile of top-class association football referees in relation to performance in selected physical tests. *Journal of Sports Sciences*, 25(7), 805-813.
- Manzi, V., Impellizzeri, F., y Castagna, C. (2014). Aerobic fitness ecological validity in elite soccer players: a metabolic power approach. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 914-919.
- Mara, J., Thompson, K., Pumpa, K., y Morgan, S. (2017). The acceleration and deceleration profiles of elite female soccer players during competitive matches. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(9), 867-872.
- Margaria, R., Cerretelli, P., Aghemo, P., y Sassi, G. (1963). Energy cost of running. *Journal of Applied Physiology*, 18, 367-370.
- Martínez-Cabrera, F.I., y Núñez-Sánchez, F.J. (2017). The use of metabolic power to assess physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running? *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(10), 1403-1411.
- Martínez-Cabrera, F.I., Núñez-Sánchez, F.J., Losada, J., Otero-Esquina, C., Sánchez, H., y de Hoyo, M. (2018). Use of individual relative thresholds to assess acceleration in young soccer players according to initial speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, ahead of print.
- McMorris, T., y Rayment, T. (2007). Short-duration, high-intensity exercise and performance of a sports-specific skill: a preliminary study. *Perceptual and Motor Skills*, 105(2), 523-530.
- Méndez-Villanueva, A., y Buchheit, B. (2013). Football-specific fitness testing: adding value or confirming the evidence? *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1503-1508.

- Méndez-Villanueva, A., Buchheit, M., Kuitunen, S., Douglas, A., Peltola, E., y Bourdon, P. (2011a). Age-related differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 477-484.
- Méndez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B. M., y Bourdon, P. C. (2013). Match play intensity distribution in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 34(2), 101-110.
- Méndez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., Peltola, E., y Bourdon, P. (2011b). Does on-field sprinting performance in young soccer players depend on how fast they can run or how fast they do run? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2634-2638.
- Minetti, A., Gaudino, P., Seminati, E., y Cazzola, D. (2013). The cost of transport of human running is not affected, as in walking, by wide acceleration/deceleration cycles. *Journal of Applied Physiology*, 114(4), 498-503.
- Minetti, A., Moia, C., Roi, G., Susta, D., y Ferretti, G. (2002). Energy cost of walking and running at an extreme uphill and downhill slopes. *Journal of Applied Physiology*, 93(3), 1039-1046.
- Mohr, M., Krstrup, P., y Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to the development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528.
- Mohr, M., Krstrup, P., y Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: a brief review. *Journal Sports Sciences*, 23(6), 593-599.
- Mohr, M., Krstrup, P., Nybo, L., Nielsen, J., y Bangsbo, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches: beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14(3), 156-162.

- Mohr, M., Mujika, I., Santisteban, J., Randers, M., Bischoff, R., Solano, R., Hewitt, A., Zubillaga, A., Peltola, E., Krstrup, P. (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20 (Suppl 3), 125-132.
- Montgomery, PG, Pyne, DB, y Minahan, CL. (2010). The physical and physiological demands of basketball training and competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(1), 75-86.
- Moreira, A., Saldanha, M., Carling, C., Rodrigues, R., Schultz, A., Lima, M., Correa, U., y Bradley, P. (2016). Temporal changes in technical and physical performances during a small-sided game in elite youth soccer players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 7(4).
- Mujika, I., Spencer, M., Santisteban, J., Goiriena, J., y Bishop, D. (2009). Age-related differences in repeated-sprint ability in highly trained youth football players. *Journal of Sports Sciences*, 27(14), 1581-1590.
- Muñoz-López, A., Granero, P., Pino, J., y de Hoyo, M. (2017). The validity and reliability of a 5-Hz GPS device for quantifying athletes' sprints and movement demands specific to team sports. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(1), 156-166.
- Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., y Dupont, G. (2014). The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1517-1523.
- Nicolella, D., Torres-Ronda, L., Saylor, L., y Schelling, X. (2018). Validity and reliability of an accelerometer-based player tracking device. *PLoS One*, 13(2).
- Northeast, J., Russell, M., Shearer, D., Cook, C., y Kilduff, L. (2017). Predictors of linear and multidirectional acceleration in elite soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, ahead of print.

- Nosaka, K., y Newton, M. (2002). Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 63-69.
- Núñez-Sánchez, F.J., Toscano-Bendala, F., Campos-Vázquez, M., y Suarez-Arrones, L. (2017). Individualized speed threshold to analyze the game running demands in soccer players using GPS technology. *RETOS. Nuevas tendencias en Educación Física, Deportes y Recreación*, 32, 130-133.
- Núñez-Sánchez, F.J., Toscano-Bendala, F.J., Suarez-Arrones, L., Martínez-Cabrera, F.I., y de Hoyo, M. (2018). Individualized thresholds to analyse the acceleration demands in soccer players using GPS. *RETOS: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deportes y Recreación*, 35, 75-79.
- Odetoyinbo, K., Wooster, B., y Lane, A. (2007). The effect of a succession of matches on the activity profiles of professional soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6 Suppl. 16-17.
- O'Donoghue, P. G., Boyd, M. y Bleakley, E. (2001). Time-motion analysis of elite semi-professional and amateur soccer competition. *Journal of Human Movement Studies*, 41(1), 1-12.
- Ohashi, J., Togari, H., Isokawa, M., y Suzuki, S. (1988). Measuring movement speeds and distances covered during soccer match-play. En Reilly, T., Lees, K., y Murphy, W. *Science and Football* (pp. 329-333). London: E & FN Spon.
- Osgnach, C., Paolini, E., Roberti, V., Vettor, M., y Di Prampero, P. (2016). Metabolic power and oxygen consumption in team sports: a brief response to Buchheit et al. *International Journal of Sports Medicine*, 37(1), 77-81.
- Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., y Di Prampero, P. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(1), 170-178.

- Owen, S., Venter, R., Du Toit, S., y Kraak, W. (2015). Acceleratory match-play demands of a Super Rugby team over a competitive season. *Journal of Sports Science*, 33(19), 2061-2069.
- Ozgül, K., Kurdak, S., Maughan, R., Zeren, C., Korkmaz, S., Yazici, Z., Ersöz, G., Shirreffs, S., Binnet, M., y Dvorak, J. (2010). Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(Suppl 3), 140-147.
- Panorama Audiovisual (redacción). (2013). La Premier League instala el sistema de tracking en tiempo real Tracab de ChyronHego. *Panoramaaudiovisual.com*. Recuperado de <https://www.panoramaaudiovisual.com/2013/09/25/la-premier-league-instala-el-sistema-de-tracking-en-tiempo-real-tracab-de-chyronhego/> el 08/12/2017.
- Parejo-Blanco, F., Suarez-Arrones, L., Rodríguez-Rosell, D., López-Segovia, M., Jiménez-Reyes, P., Bachero-Mena, B., y González-Badillo, J. (2016). Evolution of determinant factors of repeated sprint ability. *Journal of Human Kinetics*, 54, 115-126.
- Parlebas, P. (2001). *Juegos, deporte y sociedad. Léxico de praxiología motriz*. Barcelona: Paidotribo.
- Papaïakovou, G., Giannakos, A., Michailidis, C., Patikas, D., Bassa, E., Kalopisis, V., Anthrakidis, N., y Kotzamanidis, C. (2009). The effect of chronological age and gender on the development of sprint performance during childhood and puberty. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2568-2573.
- Pérez, D. (2015). Todo sobre el GPS en Android: cómo funciona y cómo desactivarlo. *Elandroidelibre.lespanol.com*. Recuperado de <https://elandroidelibre.lespanol.com/2015/10/todo-sobre-el-gps-en-android-como-funciona-y-como-desactivarlo.html> el 12/02/2018.

- Pinnington, H., y Dawson, B. (2001). The energy cost of running on grass compared to soft dry beach sand. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(4), 416-430.
- Pino-Ortega, J., García-Rubio, J., e Ibáñez, S. (2018). Validity and reliability of the WIMU inertial device for the assessment of the vertical jump. *PeerJ*, 6, e4709.
- Pol, R. (2016). (7ª Ed). *La preparación ¿física? en el fútbol. El proceso de entrenamiento desde las ciencias de la complejidad* (pp. 53, 59). Vigo, España: MCSports.
- Polglaze, T., Dawson, B., y Peeling, O. (2016). Gold standard or fool's gold? The efficacy of displacement variables as indicators of energy expenditure in team sports. *Sports Medicine*, 46(5), 657-670.
- Portas, M., Harley, J., Barnes, C., y Rush, C. (2010). The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz global positioning system for lineal, multidirectional, and soccer-specific activities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 448-458.
- Proske, U., y Morgan, D. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of Physiology*, 537(Pt 2), 333-345.
- Rahanama, N., Reilly, T., y Leeds, A. (2002). Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *British Journal of Sports Medicine*, 36(5), 354-359.
- Rahnama, N., Reilly, T., Lees, A., y Graham-Smith, P. (2003). Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *Journal of Sports Science*, 21(11), 933-942.
- Rampinini, E., Alberti, G., Fiorenza, M., Riggio, M., Sassi, R., Borges, T., y Coutts, A. (2015). Accuracy of GPS devices for measuring high-intensity running in field-based team sports. *International Journal of Sports Medicine*, 36(1), 49-53.
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, C., Ferrari-Bravo, D., Sassi, R., e Impellizzeri, F. (2007a). Validity of simple field tests as indicators of match related physical

- performance in top level professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 228-235.
- Rampinini, E., Coutts, A., Castagna, C., Sassi, R., e Impellizzeri, F. (2007b). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1018-1024.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F., Castagna, C., Azzalin, A., Ferrari, D., y Wisloff, U. (2008). Effect of match-related fatigue on short-passing ability in young soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(5), 934-942.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F., Castagna, C., Coutts, A., y Wisloff, U. (2009). Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 227-233.
- Randers, M., Rostgaard, T., y Krstrup, P. (2007). Physical match performance and Yo-Yo IR2 test results of successful and unsuccessful football teams in the Danish Premier League. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6 Suppl 10, 70.
- Randers, M., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., Zubillaga, A., Peltola, E., Krstrup, P., y Mohr, M. (2010). Application of four different football match analysis systems: a comparative study. *Journal of Sports Science*, 28(2), 171-182.
- Real Federación Española de Fútbol (RFEF). (2015). *Aprobación de dispositivos de seguimientos electrónicos del rendimiento*. Circular nº8. Madrid, España.
- RealTrack Systems. (2018). WIMU® PRO. *Realtracksystems.com*. Recuperado de <http://www.realtracksystems.com/es/wimupro/> el 09/07/2018.
- Redwood-Brown, A., Cranton, W., y Sunderland, C. (2012). Validation of a real-time video analysis system for soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 33(8), 635-640.

- Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 157-163.
- Reilly T. (2003). Motion analysis and physiological demands. En Reilly, T., Williams, A. (Ed.). *Science and Soccer* (pp. 59–72). London: Routledge.
- Reilly, T. (2005). An ergonomic model of the soccer training process. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 561-572.
- Reilly, T., Bangsbo, J., y Franks, A. (2000b). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 669-683.
- Reilly, T., Drust, B., y Clarke, N. (2008). Muscle fatigue during football match-play. *Sports Medicine*, 38(5), 357-367.
- Reilly, T., y Thomas, C. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of Human Movement Studies*, 2(2), 87-97.
- Reilly T, y Williams AM. (2003). Introduction to science and soccer. En Reilly, T., Williams, A. (Ed). *Science and Soccer* (pp. 1-6). London: Routledge.
- Reilly, T., Williams, A., Nevill, A., y Franks, A. (2000a). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 695-702.
- Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J., y Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(2), 162-169.
- Roberts, S., Trewartha, G., y Stokes, K. (2006). A Comparison of time-motion analysis methods for field based sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(4), 388-399.

- Rowland, T., Auchinachie, J., Keenan, T., y Green, G. (1987). Physiological responses to treadmill running in adult and prepubertal males. *International Journal of Sports Medicine*, 8(4), 292-297.
- Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., Cook, C., Love, T., Bracken, R., y Kilduff, L. (2014). Changes in acceleration and deceleration capacity throughout professional soccer match-play. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 30(10), 2839-2844.
- Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., y Kilduff, L. (2015). Responses to a 120 min reserve team soccer match: a case study focusing on the demands of extra time. *Journal of Sports Sciences*, 33(20), 2133-2139.
- Sanna, G., y O'Connor, K. (2008). Fatigue-related changes in stance leg mechanics during sidestep cutting maneuvers. *Clinical Biomechanic*, 23(7), 946-954.
- Sarmiento, H., Marcelino, R., Anguera, M., Campanico, J., Matos, N., y Leitaó, J. (2014). Match analysis in football: a systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1831-1843.
- Schutz, Y., y Chambaz, A. (1997). Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on Earth? *European Journal of Clinical Nutrition*, 51(5), 338-339.
- Schutz, Y., y Herren, R., (2000). Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3), 642-646.
- Scott, B., Lockie, R., Knight, T., Clark, A., y De Jone, X. (2013). A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 195-202.
- Serpiello, F., Duthie, G., Moran, C., Kovacevic, D., Selimi, E., y Varley, M. (2018). The occurrence of repeated high acceleration ability (RHAA) in elite youth football. *International Journal of Sports Medicine*, 39(7), 502-507.

- Shiokawa, M., Takahashi, K., Kan, A., Choi, C., y Deguchi, R. (2003). Computer analysis of a soccer game by the DLT method focusing on the movement of the players and the ball [abstract]. *Vth World Congress of Science and Football; Books of abstracts* (pp. 267). Madrid, España: Gymnos.
- Sonderegger, K., Tschopp, M., y Taube, W. (2016). The challenge of evaluating the intensity of short actions in soccer: a new methodological approach using porcentaje acceleration. *PLoS One*, 11(11).
- Sparks, M., Coetzee, B., y Gabbett, T. (2017). Internal and external match load of university-level soccer players: a comparison between methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1072-1077.
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., y Goodman, C. (2005a). Physiological and metabolic responses f repeated-sprint activities. Specific to field-based team sports. *Sports Medicine*, 35(12), 1025-1044.
- Spencer, M., Lawrence, S., Rechichi, C., Bishop, D., Dawson, B., y Goodman, C. (2004). Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated sprint activity. *Journal of Sports Sciences*, 22(9), 843-850.
- Spencer, M., Rechihi, C., Lawrence, S., Dawson, B., Bishop, D., y Goodman, C. (2005b). Time-motion analysis of elite field hockey during several games in succession: a tournament scenario. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8(4), 382-391.
- Stevens, T., De Ruiter, C., Beek, P., y Savelsbergh, G. (2016). Validity and reliability of 6-a-side small-sided game locomotor performance in assessing physical fitness in football players. *Science and Medicine in Football*, 34(6), 527-34.
- Stevens, T., De Ruiter, C., Twisk, J., Geert, J., Savelsbergh, G., y Beek, P. (2017). Quantification of in-season training load relative to match load in professional Dutch Eredivisie football players. *Science and Medicine in Football*, 1(2), 117-125.

- Stevens, T., De Ruiter, C., Van Maurik, D., Van Lierop, C., Savalsbergh, C., y Beek, P. (2015). Measured and estimated energy cost of constant and shuttle running in soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(6), 1219-1224.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., y Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine*, 35(6), 501-536.
- Stroyer, H., Hansen, L., y Hansen, K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(1), 168-174.
- Suarez-Arrones, L., Tous-Fajardo, J., Núñez, J., Gonzalo-Skok, O., Gálvez, J., y Méndez-Villanueva, A. (2014). Concurrent repeated sprint and resistance training with superimposed vibrations in rugby players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(4), 667-673.
- Suarez-Arrones, L., Torreño, N., Requena, B., Saez De Villarreal, E., Casamichana, D., Barbero-Alvarez, J. C., y Munguía-Izquierdo, D. (2015). Match-play activity profile in professional soccer players during official games and the relationship between external and internal load. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(12), 1417-1422.
- Tamarit, X. (2012). (4ª Ed.). *¿Qué es la “periodización táctica”? Vivenciar el juego para condicionar el juego* (pp. 37-38). Vigo, España: MCSports.
- Tierney, P., Young, A., Clarke, N., y Duncan, M. (2016). Match play demands of 11 versus 11 professional football using Global Positioning System tracking: variations across common playing formations. *Movement Human Science*, 49, 1-8.
- Torreño, N., Munguía-Izquierdo, D., Coutts, A., De Villarreal, E., Asian, J., y Suarez-Arrones, L. (2016). Relationship between external and internal loads of professional soccer players during full matches in official games using global positioning systems and heart-rate technology. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 940-946.

- Union of European Football Associations (UEFA). (2010). Protection of young players [online]. In Ford, P. *et al.*. (2012). The developmental activities of elite soccer players aged under-16 years from Brazil, England, France, Ghana, Mexico, Portugal and Sweden. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1-11.
- Varley, I., Lewin, R., Needham, R., Thorpe, R., y Burbeary, R. (2017a). Association between match activity variables, measures of fatigue and neuromuscular performance capacity following elite competitive soccer matches. *Journal of Human Kinetics*, 60, 93-99.
- Varley, M., y Aughey, R. (2013). Acceleration profiles in elite Australian soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 34(1), 34-39.
- Varley, M., Fairweather I., y Aughey, R. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 121-127.
- Varley, M., Gabbett, T., y Aughey, R. (2014). Activity profiles of professional soccer, rugby league and Australian football match play. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1858-1866.
- Varley, M., Jaspers, A., Helsen, W., y Malone, J. (2017b). Methodological considerations when quantifying high-intensity efforts in team sports using global positioning system technology. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(8), 1059-1068.
- Vigh-Larsen J, Dalgas U, y Andersen T. (2018). Position specific acceleration and deceleration profiles in elite youth and senior soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(4), 1114-1122.
- Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloatti, G., y Hautier, C. (2010). Activity profile in elite Italian soccer team. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 304-310.

- Vickery, W., Dascombe, B., Baker, J., Higham, D., Spratford, W., y Duffield, R. (2013). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of sports-specific movement patterns related to cricket, tennis and field-based team sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1697-1705.
- Waldron, M., Worsfold, P., Twist, C., y Lamb, K. (2011). Concurrent validity and test-retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gate to assess sprint performance variables. *Journal of Sports Sciences*, 29(15), 1613-1619.
- Wehbe, G., Hartwig, T., y Duncan, C. (2014). Movement analysis of Australian national league soccer players using global positioning system technology. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(3), 834-842.
- Williams, M., y Hodge, N. (2005). Practice, instruction and skill acquisition in soccer: challenging tradition. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 637-650.
- Winter, E., y Maughan, R. (2009). Requirements for ethics approvals. *Journal of Sports Sciences*, 27(10), 985-985.
- Wisbey, B., Montgomery, P., Pyne, D., y Rattray, B. (2010). Quantifying movement demands of AFL football using GPS tracking. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 531-536.
- Young, W., Hepner, J., y Robbins, D. (2012). Movement demands in Australian rules football as indicators of muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 492-496.
- Zamparo, P., Perini, R., Orizio, C., Sacher, M., y Ferretti, G. (1992). The energy cost of walking or running on sand. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(2), 183-187.
- Zubillaga, A., Gorospe, G., Mendo, A., Villaseñor, B. (2007). Match analysis of 2005-2006 Champions League final with Amisco system. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6 Suppl. 10, 20.

ANEXOS

Anexo 1. Estudio 1: The use of metabolic power to assess physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running?

ORIGINAL ARTICLE

The use of metabolic power to assess physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running?

Francisco I. MARTÍNEZ-CABRERA ^{1, 2 *}, Francisco J. NÚÑEZ-SÁNCHEZ ¹

¹Faculty of Sports, Pablo de Olavide University, Seville, Spain; ²Department of Strength and Conditioning, Football Club Petrolul Ploiești, Ploiești, Romania

*Corresponding author: Francisco I. Martínez-Cabrera, Avenida Nuestro Padre Jesús del Rescate 33, 23440 Baeza, Jaén, Spain. E-mail: fimarcab@outlook.com

ABSTRACT

BACKGROUND: Metabolic power and speed running are in the top-10-ranked variables used to quantify the physical demand in soccer matches or training practices. The main purpose of this study was to compare metabolic power (MP) and the traditional approach using speed running during soccer matches in absolute values and in zones of intensity in function of the playing positions.

METHODS: Thirty-eight professional soccer players were analyzed during 18 friendly matches from 4 preseasons (N.=300) and divided into 5 groups of playing positions: central defender (CD) (N.=64), wide defender (WD) (N.=55), central midfielder (CM) (N.=58), wide attacker (WA) (N.=70), and attacker (AT) (N.=53). The individual profiles to each playing positions were assessed using MP and speed running approaches. The magnitude of change was substantial when there was a $\geq 75\%$ likelihood of the effect. The effect size was also calculated using a confidence interval of 90%.

RESULTS: In absolute values, CMs and WAs had substantially greater values than did the other positions, with CMs having the highest values in both approaches and an identical relationship between the positions in both approaches. In categories of intensity, medium-low intensity displayed differences between the approaches; the physical demands of ATs and CDs were lower using the traditional approach but were higher than the other playing positions when assessed using MP. No differences were found at low, medium or high intensities.

CONCLUSIONS: The MP and energy expenditure reported differences at medium-low intensity compared to the speed running traditional approach between playing positions. However, the other intensities did not report differences compared to the traditional approach in the different playing positions.

(Cite this article as: Martínez-Cabrera FI, Núñez-Sánchez FJ. The use of metabolic power to assess physical demands in soccer: how does it differ from the traditional approach through speed running? J Sports Med Phys Fitness 2018;58: _____. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.07563-6)

Key words: Geographic information systems - Metabolism - Football.

In recent decades, match-analyses of soccer have been deeply investigated.¹⁻⁴ An accurate assessment of the workload in soccer matches is very important for coaches to evaluate physical performance in soccer and develop an optimal physical preparation program.^{5, 6} There are differences in the distance covered and categories of intensity in speed running according to the playing position.^{2-4, 7} Understanding the different physical and technical demands required of individual position and player is very useful for coaches and physical

conditioning coaches to develop strategies to improve the athlete's performance, avoid injuries and detect their strengths and weaknesses. Therefore, it is necessary to conduct an accurate and reliable match analysis to identify these differences in the demands for each playing position to design individual training protocols according to the tactical role demands of each position.^{2, 7}

Currently, different methods are used to analyze external physical demands during a soccer match, such as manual video motion-analysis, global positioning

system (GPS), sensor-transmitters or manual and automatic video tracking systems.^{2, 8} These techniques would be accurate enough to provide raw data for gross estimations of the energy expenditure for players; however, they may be limited in their ability to differentiate between small differences in specific activity patterns.⁹ To date, GPS technology can assess different variables, including the distance covered, distance and time spent at a specific running speed, acceleration, and deceleration.^{10, 11} In addition to this traditional approach, a new model of analysis has been applied in soccer. In 2005, di Prampero *et al.*¹² launched a proposal to estimate the energy cost (EC) of running speed, acceleration and deceleration. Some years later, first Osgnach *et al.*,¹³ and then other authors, have applied this theory to matches and training analysis in soccer. This novel approach to estimate the EC (in J/kg/m) and metabolic power (MP) (in W/kg) is based on the equivalence of an accelerating frame of reference with Earth's gravitational field.¹² According to this model, accelerated running on a flat terrain could be considered energetically equivalent to uphill running at constant speed.^{14, 15} These authors argued that the use of energy cost and metabolic power is more effective in soccer because the traditional approach underestimates the total energy cost associated with soccer related activities such as acceleration-deceleration, change of direction (COD), etc. Recently, Akenhead and Nassis¹⁶ reported that the MP is in the top-10-ranked variables used to quantify the physical demand during the trainings by coaches, being more used than the heart rate exertion or the rating of perceived exertion. However, it is not in the top-10-ranked variables used to assess the physical load in matches. By contrast, Stevens *et al.*,⁶ Buchheit *et al.*¹⁷ and, more recently, Brown *et al.*¹⁸ found that the energy expenditure was underestimated during intermittent movements with accelerations and or decelerations during shuttle running (180° turning) (Stevens) and in circuit drills^{17, 18} and overestimated at a constant speed in the Stevens paper as well.⁶ So, the accuracy of MP approach has been reported as unable to provide an accurate estimation in a field sport, being more appropriate to estimate the energy expenditure during continuous jogging and running.¹⁸ In that way, Harder *et al.*¹⁹ found also a dissociation between metabolic demands and muscle activity during COD and straight-line sprints. Their results showed lower values of metabolic demands in sprints

with COD than in straight-line sprints while muscle activity was greater. Those findings caused the authors to consider as questionable the use of MP as a single measure of training load. On other hand, the MP assessed through GPS devices largely underestimated the energy demands of soccer-specific drills, particularly during the recovery phases have been reported by Buchheit *et al.*¹⁷ They examined the validity and reliability of MP and estimated the locomotor demands in soccer-specific drills using GPS devices (4 Hz) and a portable gas analyzer. The correlation with both estimations of MP was small (0.24), with very large variations for acceleration, deceleration and >20 W/kg distances (all CVs>50%). In response to the last issue, Osgnach *et al.*²⁰ argued that at any given time, the $\dot{V}O_{2\max}$ could be greater than, equal to or smaller than the metabolic power because $\dot{V}O_2$ kinetics are rather sluggish compared to the rate of change of the work intensity, and they are smaller than the MP values during exercise bouts and greater after exercise bouts for oxygen debt during the recovery after exercise. Castagna *et al.*²¹ compared both approaches in their paper, finding an almost perfect association ($r=0.93$) between the distance covered at a high-intensity speed with the high intensity using MP approach, but with a very large absolute difference between both (52%).

Therefore, there are different conclusions about the usefulness of estimating MP through locomotor demands and its validity and application in soccer. Castagna *et al.*²¹ were the first ones to assess the association and or difference of the MP approach and traditional speed running method. They used a classic arbitrary speed and MP zones, both at high intensity. However, a comparison between MP and speed running values according to the playing positions in soccer matches and at low intensity arbitrary zones have not been performed yet. We hypothesized that some playing positions primarily consist of high intensity large accelerations or decelerations over short distances. However, the player is not able to reach a high speed in such a short distance; thus, these actions are considered low intensity in the traditional approach when they are actually high or maximum intensity. In this case, those playing positions could be classified as including actions at low or medium intensity when those actions actually occur at a high intensity. We hypothesize that the MP and energy expenditure will report differences in medium-high in-

tensity compared to the traditional running speed between playing positions. Therefore, the aims of our investigation were to compare the two methods to analyze the physical demands of a match (intensity of running speed and metabolic power) in absolute values, and to compare these methods in different zones of intensity and as a function of the playing position.

Materials and methods

Data were collected from 38 professional soccer players (age 26.3 ± 3.9 years; height 180.0 ± 4.9 cm; weight 77 ± 5.2 kg) from the Romanian First League during 18 friendly matches in the preseason (4 preseasons between 2013 and 2014). These data were obtained from routine monitoring of work-rate in games. Therefore, usual appropriate ethics committee was not required clarification.²² A total of 300 individual matches were registered (N.=300), excluding data from goalkeepers and players who were injured or in the rehabilitation process. Only 45 minutes during each game (one half) were analyzed for each player, excluding those who played less than half a game (the players participated in between 2 and 18 matches). All of the soccer players were divided into 5 groups according to their positions: central defender (CD) (N.=64), wide defender (WD) (N.=55), central midfielder (CM) (N.=58), wide attacker (WA) (N.=70), and attacker (A) (N.=53), with all of the players in their usual position. All subjects were informed of the benefits and risks of the investigation and the experimental protocol was assessed and approved by the Ethical Committee of Pablo de Olavide University, Seville (Spain); team and players confidentiality were granted and the study followed the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki).

Data collection and analysis

Portable global positioning system (GPS) technology (GPSports SPI PRO X II, Canberra, Australia) of 15 Hz (15 samples per second) and an 8-g accelerometer were used to determine physical performance during the games. The validity and reliability of this model were assessed regarding the distance covered, the different running speeds and the soccer specific activities; the 15-Hz GPS was also demonstrated to provide more reliable measurements of the demands of movements than

1- or 5-Hz GPS.²³⁻²⁶ The units were activated before the warm up; thus, all of the units were activated more than 20 minutes before the match, allowing the acquisition of satellite signals.^{27, 28} All of the soccer players had their personal devices, which were placed on the back of the spine (dorsal region) within a special harness provided by the GPS company.

Physical performance

Physical performance was assessed as a function of the distance covered in meters per minute and the average power in watts/kg (W/kg). The MP can be obtained by multiplying the EC by running speed (v) ($MP = ECv$). The EC at a constant speed running uphill was described by Minetti *et al.*²⁹ as:

$$EC = (155.4i^5 - 30.4i^4 - 43.3i^3 + 46.3i^2 + 19.5i + 3.6)$$

where i is the incline of the terrain ($i = \tan(90 - \alpha)$), being α the angle. Then, the EC of accelerated running can be calculated multiplying by the equivalent mass (EM):

$$EC = (155.4i^5 - 30.4i^4 - 43.3i^3 + 46.3i^2 + 19.5i + 3.6) EM$$

where EM is $[(a_f^2/g^2) + 1]^{0.5}$, being a_f the forward acceleration and g the Earth's acceleration of gravity.^{13, 14, 28}

Speed was divided in six categories to identify the distance covered in each category: walking (W) (0.1 to 8 km/h), jogging (J) (8.1 to 13 km/h), low-speed running (LSR) (13.1 to 16 km/h), intermediate-speed running (ISR) (16.1 to 19 km/h), high-speed running (HSR) (19.1 to 22 km/h) and maximum-speed running (MSR) (>22.1 km/h). Metabolic power was also divided into six categories: very low power (VLP) (0.1 to 5 W/kg), low power (LP) (5.1 to 10 W/kg), intermediate power (IP) (10.1 to 20 W/kg), high power (HP) (20.1 to 35 W/kg), elevate power (EP) (35.1 to 55 W/kg) and maximum power intensity (MPI) (>55.1 W/kg).^{13, 15} However, to compare between both methods of analysis (speed and metabolic power categories) at different intensities, another category of MP was created. The first Osgnach's category was low power, from 0 to 10 W/kg, which was divided into two levels: VLP and LP. Bradley *et al.*³⁰ found that the acceleration was the greatest in elite players who moved from any low-intensity category ($P < 0.01$) (standing, W, or J) to sprinting compared to high-speed running or running. Then, we thought it would be interesting to know what occurs

between the low intensity categories, where a low speed running can be recorded and considered low intensity, but it may involve a large acceleration/deceleration in a small distance; therefore, it could be considered a higher intensity.

Total distance per minute and the distance covered at different speed intensities were downloaded from the GPSports SPI PRO X II Software Team AMS (Canberra, Australia). The distances realized in the different MP categories were calculated using a custom Excel spreadsheet with data of the time and speed at the time instant from the software and the equations mentioned in the previous section.

Statistical analysis

The results are presented as the mean and standard deviation. The analysis of independent variables reported by Hopkins³¹ was applied to compare between the playing positions. A 90% confidence level was used, and all other variables were log-transformed to reduce bias due to nonuniformity of error. The scale considers that a magnitude of change is substantial when there is a $\geq 75\%$ likelihood of the effect being equal to or greater than the smallest worthwhile change estimated as $0.2x$ between the subjects' standard deviations and is classified as trivial to moderate.³⁵ Cohen's d effect size (ES) was also calculated using a confidence interval of 90%. The thresholds applied to the effect size were based on the proposal of Cohen:³⁶ trivial (0.0-0.19), small (0.2-0.59), moderate (0.6-1.1), large (1.2-1.9), and very large (>2.0).^{33, 35}

Results

Distance covered per minute, metabolic power, equivalent distance and equivalent distance index

Table I shows the distances covered and the metabolic power average for all of the players and the specific playing positions. The table also includes the relation-

ship between the players and positions according to the equivalent distance and the equivalent distance index. For the MP values, the CMs substantially had the largest metabolic power, followed by the WAs (small ES), CDs, WDs and ATs, with the WAs having a larger MP than the CDs (moderate ES). In the distance per minute data, the CMs ran substantially more meters than the WAs (small ES), followed by the CDs, WDs and ATs, respectively, with the WAs covering more meters than the CDs (moderate ES).

Distance covered in speed running categories according to playing position

Table II displays the results of all of the speed categories differentiated by playing positions for the speed running approach. When walking, there were no differences between WAs and CM, but both positions had lower values than the others, with WAs running less than CDs (moderate ES). When jogging, the CMs ran substantially further than the other playing positions; CMs ran further than both WAs (small ES) and ATs (large ES), with CDs running further than ATs (moderate ES). In the LSR category, the CMs received the highest results, which was substantially greater than that of the WAs (moderate ES), and both of those positions had higher results than the other playing positioning, with WAs covering more meters than CDs (small ES). At HSR, the CMs again received the highest results compared to the other playing positions, with higher results than the WAs (small ES); furthermore, the WAs had higher results than the WDs (moderate ES). In the ESR category, the WAs and CMs had substantially greater values than the ATs and CDs, with CMs running more meters than ATs (small ES); there were no differences between WAs and WDs. The CDs received the lowest results in this category with substantial differences compared to all of the other playing positions, with ATs having the second lowest results (moderate ES). In the highest level, the MSR, the WDs and WAs covered more meters than the

TABLE I.—*Metabolic power and distance covered.*

	Total (N.=300)	CD (N.=64)	WD (N.=55)	CM (N.=58)	WA (N.=70)	AT (N.=53)	Follow-up test
Metabolic power, W/kg	10.2 \pm 1.1	9.8 \pm 0.7	9.8 \pm 0.8	11.0 \pm 0.8	10.7 \pm 1.1	9.7 \pm 1.0	(CM>WA)>CD=WD=AT
Distance, m/min	110.7 \pm 10.9	105.8 \pm 7.4	105.8 \pm 8.3	119.7 \pm 8.19	115.6 \pm 10.8	105.2 \pm 10.2	(CM>WA)>CD=WD=AT

CD: central defender; WD: wide defender; CM: central midfielder; WA: wide attacker; AT: attacker.

TABLE II.—*Total high-, elevated- and maximum-speed running distance covered (m) relatively to playing position.*

Activity	TOTAL (N.=300)	CD (N.=64)	WD (N.=55)	CM (N.=58)	WA (N.=70)	AT (N.=53)	Follow-up test
Walking (0.1-8 km/h)	1954.6±215.9	1996.4±150.1	2006.6±230.4	1846.0±184.7	1885.2±207.5	2060.7±234.2	(WD=AT>CD)>(WA=CM)
Jogging (8.1-13 km/h)	1470.0±343.0	1482.4±201.8	1245.6±225.8	1739.9±308.2	1549.0±385.2	1288.4±311.1	CM>(WA=CD)>(AT=WD)
Low-speed running (13.1-16 km/h)	669.3±201.0	633.7±174.8	559.9±129.3	830.0±170.8	714.6±164.7	590.2±240.3	(CM>WA)>(AT=CD>WD)
High-speed running (16.1-19 km/h)	360.9±114.7	308.8±71.0	322.5±82.0	460.1±112.4	399.8±121.0	303.5±89.3	CM>WA>WD=CD=AT
Elevated-speed running (19.1-22 km/h)	197.0±69.2	152.0±51.9	204.9±59.3	216.4±68.6	223.7±79.5	186.8±55.3	(WA=CM)>AT>CD; WA=CM=WD; (WD=AT)>CD
Maximum-speed running (>22.1 km/h)	154.4±86.3	113.0±56.8	202.7±100.3	112.8±53.3	184.8±97.5	159.4±70.8	(WD=WA)>AT>(CD=CM)

CD: central defender; WD: wide defender; CM: central midfielder; WA: wide attacker; AT: attacker.

TABLE III.—*Total high, elevated, and maximum metabolic power distance covered (m) relative to playing position.*

Metabolic power	TOTAL (N.=300)	CD (N.=64)	WD (N.=55)	CM (N.=58)	WA (N.=70)	AT (N.=53)	Follow-up test
Very low power (0.1-5 W/kg)	479.9±83.5	501.2±62.4	505.8±80.7	417.6±57.7	464.4±85.1	516.3±89.8	(AT=WD=CD)>WA>CM
Low power (5.1-10 W/kg)	1507.5±172.7	1527.4±131.7	1515.4±200.9	1475.3±137.0	1466.2±185.5	1565.3±187.0	(AT=CD)>(CM=WA); AT=CD=WD; WD=CM=WA
Intermediate power (10.1-20 W/kg)	1643.0±356.0	1610.2±233.2	1411.3±226.7	1959.5±332.2	1730.7±337.5	1460.8±350.8	CM>WA>CD>(AT=WD)
High power (20.1-35 W/kg)	813.7±194.9	728.9±114.1	732.2±140.9	979.1±173.5	896.7±203.3	709.7±165.6	CM>WA>WD=CD=AT
Elevate power (35.1-55 W/kg)	252.0±65.8	221.6±50.7	257.8±67.9	271.9±52.4	274.9±77.7	230.8±56.5	(WA=CM=WD)>(AT=CD)
Maximum power intensity (55.1-90 W/kg)	106.2±36.4	94.6±28.4	115.2±34.7	98.3±28.6	119.3±46.5	102.2±32.0	(WA=WD)>(AT=CM=CD)

CD: central defender; WD: wide defender; CM: central midfielder; WA: wide attacker; AT: attacker.

other positions, with WDs covering more meters than ATs (small ES), ATs covering more meters than CDs (moderate ES), and CDs covering more meters than CMs (moderate ES).

Distance covered in metabolic power categories according to playing position

Table III displays the results of all of the metabolic power categories differentiated by playing positions. At VLP, WAs covered more distance than CMs (moderate ES); however, both ran less distance than the other positions (CDs covered more distance than WAs (small ES). However, at LP, the ATs and CDs covered substantially more distance than the CMs and WAs who received the lowest results, with ATs running further than CMs

(small ES) and WAs (small ES). In this case, the CDs ran further than the CMs (small ES). In the IP category, the CMs had higher results than the WAs (moderate ES), WAs got substantially higher results than CDs (small ES), and CDs having higher results than ATs (small ES) and WDs (moderate ES). For HP, CMs had substantially higher results than WAs (small ES) and both positions having higher results than the other positions, having WAs higher results substantially than WDs (moderate ES). In the EP, the WAs, CMs and WDs had substantial differences compared to the ATs and CDs, with WDs running more than ATs (small ES). In the results in the MPI category the WAs and WDs had substantially higher results compared to the other categories, with WDs having higher results than ATs (small ES). No differences were found between the ATs, CMs and CDs.

Discussion

Recently, Osgnach¹³ applied a new match analysis approach for soccer matches that uses a function of the energetic cost and metabolic power from di Prampero.¹² Based on this approach, some authors have applied metabolic power and the traditional methods of analysis in their investigations, reaching the conclusion that running speed is underestimated, particularly at high intensities, or overestimated at low intensities; therefore, the use of metabolic power is more valid in assessing physical demands.^{14, 28} The aims of this study were to compare between the two methods of analysis of the physical demands of a match (the intensity of running speed and metabolic power) using absolute values and different zones of intensity according to the playing positions. Our results did not identify differences between these methods at high, medium and low intensities in the different playing positions. Small differences between physical demands in the evaluation of both approaches for the playing positions were identified only at a medium-low intensity: ATs and CDs covered more meters based on the MP approach, whereas CMs and WAs ran a shorter distance based on the speed running approach; these results were inverse. In the wake of the results, the MP values did not report different information than the running speed (particularly at high intensity).

Currently, there are not many works that use metabolic power to assess physical demands in soccer, especially in matches. If we compare the results between playing position, it is possible to see as at low intensity, the relationship between CMs, ATs and CDs is different as a function of the approach employ. Using the speed running method (Table II), the CMs were substantially over ATs and CDs in the meters covered at jogging intensity. By other side, in the MP approach (Table III), at low intensity (LP), the ATs and CDs were substantially over the CMs. This difference could be explained by the results of Bradley *et al.*,³⁰ who found that acceleration was the highest when elite players moved from any low-intensity category (standing, walking, or jogging) to sprinting compared to high-speed running or running. This could occur because these positions (CDs and ATs) generally maintain a low intensity when they are not directly involved in the action, but when they must intervene, they reach maximum intensity in a short distance as a result of a strong acceleration or deceleration but without the involvement of high-speed running. It

would be interesting to improve the understanding of the activity profile of these two positions, which have been considered less active than the other positions at this intensity, potentially because acceleration and deceleration were not included in the analysis. Between 20 and 35 W/kg (HP), the CMs covered substantially more distance than did the others, similar to the results in Gaudino *et al.*¹⁴ The same authors found that the CMs ran significantly further than the CDs, but there were no differences compared to the other positions at EP and MPI. However, in our results, we also found a substantial difference between the CMs and WAs, with both running further than the other positions at HP and EP. At MPI, the WAs and WDs also had higher values than the others, which could be explained by the characteristics of training that were applied in Gaudino. Training workloads are less than those during a match at high intensities because of the limitations of the pitch in the exercises applied (small sided games).^{11, 37}

In the different categories of intensity, substantial differences were not found between the different positions regarding the meters run with a comparison between km/h and W/kg. Only small differences appeared between low power and jogging, in which the CMs and WAs had the highest results in km/h and the lowest results in W/kg. The relationship between playing positions was reported by Di Salvo *et al.*³ using categories of intensity measured as km/h, in which the WAs covered significantly more distance than the others, with CDs covering the least distance. In the maximum intensity category (>23 km/h), the CMs and CDs registered the lowest results. Although our maximum category was over 22 km/h, the relationship between playing positions in the two maximum categories of speed was similar to the results of Di Salvo. Although Di Salvo showed higher values in the physical demands during a game, the relationship of the physical load between the different playing positions was very similar at a high intensity. Conversely, Gregson *et al.*³⁸ reported that the WAs and ATs ran less than the other positions at an intensity greater than 19.8 km/h. However, in our case, we found that at ESR, the ATs and CDs covered substantially fewer meters than all of the other players whereas the WAs covered the most meters. These differences between approaches could be explained as follows: although the CMs and WAs run more meters at this intensity in km/h, they run at a more constant speed

and without strong fluctuations of speed compared to the other positions, who accelerate and decelerate more frequently at this intensity in W/kg; consequently, the CMs and WAs have higher values in km/h compared to the other positions but lower W/kg values.

To compare both approaches, it is necessary to know that the MP for running at a constant speed of 16 km/h is 20 W/kg.^{13, 21, 39} The lowest category was divided in half to be able to compare between the different categories in each approach (six to six). The follow-up test in Tables II and III shows the differences between the playing positions as a function of the distance covered in the different categories of intensity for the speed running and metabolic power approaches. In all of the categories, except for jogging and low power, the results are quite similar (and identical at times) between the two methods. Two exceptions appear between the playing positions, with the ATs and CDs covering the most distance at LP and the CMs and WAs covering the least distance, whereas in the jogging category, the CMs and WAs had the greatest values. This difference could occur because when soccer players accelerate or decelerate, the speed reached during this short time or the short distance registered by the GPS would be small, but the magnitude of the effort and the acceleration could be large. Currently, a comparison between both methods has not been found in the literature at low intensity. However, at high speed, the capacity of accelerating and decelerating is less than at low speed. Thus, it is reasonable to not identify differences between the distances covered for the different playing positions and for the same relationship to be maintained between them when the speed is increased. The results reported by Castagna *et al.* are in agreement with the current study, where a relative difference between both approaches at high intensity according to the playing positions have been found. Gaudino *et al.*²⁸ used the distance run over 14.4 km/h and over 20 W/kg to compare between both approaches in different SSGs (5 vs. 5, 7 vs. 7, and 10 vs. 10) and with different areas per player (75, 98, and 135 m²). The magnitude of change between the meters covered based on speed running and metabolic power was higher when the relationship of size per player was smaller. These results support our argument. When the relationship between players and size was larger, the difference between both methods was less for Gaudino,²⁸ and the inverse was true when the relationship was smaller. If MP considers

acceleration and deceleration as authors such as Osgnach or Gaudino^{13, 14, 28} have argued for before, it would be interesting to assess what would occur over shorter distances and what the relationship is with the results in speed running, where may be underestimated the energy expenditure associated with acceleration and deceleration when using time-motion analysis based on velocity alone^{18,40}. Several previous studies have analyzed the validity of the MP approach during continuous and intermittent running. Buchheit *et al.*¹⁷ and Brown *et al.*¹⁸ found an underestimation in the energy expenditure in soccer training drills with intermittent patterns of activities. In contrast, another work published recently by Stevens *et al.*⁶ found that for constant running, the real energy cost is overestimated by di Prampero's approach, whereas for shuttle running (with 180° turning) the energy cost is underestimated using a Local Position Measurement system and a portable gas analyzer. This difference could be explained by Osgnach's argument about the influence of VO₂. However, they (Stevens *et al.*) concluded that it is not clear yet whether and to what extent it is possible to compare the energy cost and metabolic power between different running activities. A comparison of the estimates of energy cost and metabolic power might be possible within players performing the same activity, *e.g.*, to detect fatigue. However, practitioners should be careful to make comparisons between players with different playing positions and therefore different movement characteristics. In that way, it should be considered that variations in GPS measures have recently been analyzed, particularly in accelerations and decelerations, using the same brand and 15-Hz as us,⁴¹ showing that there are very large variations in GPS measures between models and units. Therefore, the results should be analyzed carefully and combined with other measure of assessment as Hader *et al.*¹⁹ argued before.

The total average of all of the playing positions showed an identical relationship between the metabolic power and speed running results, with the CMs and WAs covering substantially more meters than the other playing positions (Table I) (CMs had the highest value). These findings are the same as Castagna *et al.*,²¹ who reported that in relative terms MP and speed running approach have an almost perfect association ($r=0.93$). This explains the identical relationship between the different playing positions, while in absolute terms, the

distance travelled in the different zones of intensity is different. These results are also in line with those of Di Salvo *et al.*,¹⁷ who conducted a match analysis using Amisco Systems with Spanish Premier League and Champions League matches, or Gaudino *et al.*,¹⁴ who used GPS devices during 10 weeks of training in a competition period, where CMs and WAs got the highest values.

Limitations of the study

Our study had some limitations that should be considered. We applied the threshold used by other authors before 20 W/kg as equivalent to 16 km/h to compare between both methods. However, in the other categories of intensity, the relationship with the equivalent between W/kg and km/h is unknown. We decided to apply the same categories used by the other authors who have used metabolic power and speed running to assess physical demands in soccer before. One more category was added in MP to be able to compare it with the speed running values. We decided to evaluate low intensity because we thought it would be more interesting to know what occurs at a slow running speed, which occurs more often and includes larger changes in speed than a high running speed, as indicated by Bradley *et al.*³⁰ In the future, investigations must be conducted regarding metabolic power and different categories of intensity. Moreover, GPS devices have been shown to display a large variability regarding acceleration and deceleration values. In the future, improvements in GPS, video and electrical tracking systems will be indispensable to understanding the energetic demands during soccer practice with greater reliability and validity.

Conclusions

In conclusion, we have not identified differences between both methods at high, medium or low intensity in the different playing positions in relative terms. Small differences between the two methods in the physical demands for each playing position were only identified at medium-low intensity: ATs and CDs covered more meters based on the MP approach, with CMs and WAs covering less distance; however, the results were inverse based on the speed running approach. In the wake of the results, the MP values did not differ from those based

on running speed, potentially because the GPS devices used to assess acceleration or deceleration are not very reliable. Nevertheless, it is necessary to move forward regarding the use of metabolic power and its application in the analysis of physical demands, particularly in situations that occur at low speed running. These findings, combined with previous investigations, suggest that the use of MP to assess the physical load should be considered by coaches, especially during intermittent patterns of activities at low speed running, where a deeper investigation in the future would be necessary to know the validity of the MP approach, which is essential for an accurate and reliable analysis of the physical load to improve the performance or to avoid injuries in soccer players.

References

1. Aslan A, Acikada C, Güvenc A, Gören H, Hazir T, Özkara A. Metabolic demands of match performance in Young soccer players. *J Sports Sci Med* 2012;11:170-9.
2. Carling C, Bloomfield J, Nelse L, Reilly T. The role of motion analysis in elite soccer. *Sports Med* 2008;38:839-86.
3. Di Salvo V, Baron R, Tschian H, Calderon F, Bachl N, Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med* 2007;28:222-7.
4. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development to fatigue. *J Sports Sci* 2003;21:519-28.
5. Iaia F, Rampinini E, Bangsbo J. High-intensity training in football. *Int J Sports Physiol Perform* 2009;4:291-306.
6. Stevens T, De Ruiter C, Van Maurik D, Van Lierop C, Savelsbergh G, Beek P. Measured and estimated energy cost of constant and shuttle running in soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 2015;47:1219-24.
7. Carling C. Analysis of physical activity profiles when running with the ball in a professional soccer team. *J Sports Sci* 2010;28:319-26.
8. Barros R, Misuta M, Menezes R, Figueroa P, Moura F, Cunha S, *et al.* Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *J Sports Sci Med* 2007;6:233-42.
9. Drust B, Atkinson G, Reilly T. Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. *Sports Med* 2007;37:783-805.
10. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Simpson B, Bourdon P. Match running performance and fitness in youth soccer. *Int J Sports Med* 2010;31:818-25.
11. Casamichana D, Castellano J, Castagna C. Comparing the physical demands of matches and small-sided games in semiprofessional soccer players. *J Strength Cond Res* 2012;26:837-43.
12. Di Prampero P, Fusi S, Sepulcri L, Morin J, Belli A, Antonuto G. Sprint running: a new energetic approach. *J Exp Biol* 2005;208:2809-16.
13. Osgnach C, Poser S, Bernardini R, Rinaldo R, Di Prampero P. Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:170-8.
14. Gaudino P, Iaia FM, Alberti G, Strudwick AJ, Atkinson G, Gregson W. Monitoring training in elite soccer players: systematic bias between running speed and metabolic power data. *Int J Sports Med* 2013;34:963-8.
15. Manzi V, Impelizzeri F, Castagna C. Aerobic fitness ecological valid-

- ity in elite soccer players: a metabolic power approach. *J Strength Cond Res* 2014;28:914-9.
16. Akenhead R, Nassis G. Training load and player monitoring in high-level football: current practice and perceptions. *Int J Sports Physiol Perform* 2016;11:587-93.
 17. Buchheit M, Manouvrier C, Cassirame J, Morin J. Monitoring locomotor load in soccer: is metabolic power, powerful? *Int J Sports Med* 2015;36:1149-55.
 18. Brown D, Dwyer D, Robertson S, Gastin P. Metabolic power method underestimates energy expenditure in field sport movements using a GPS tracking system. *Int J Sports Physiol Perform* 2016;11:1067-73.
 19. Hader K, Mendez-Villanueva A, Palazzi D, Ahmaidi S, Buchheit M. Metabolic power requirement of change of direction speed in young soccer players: Not all is what it seems. *PloS One* 2016;11.
 20. Osgnach C, Paolini E, Roberti V, Vettor M, Di Prampero P. Metabolic power and oxygen consumption in team sports: a brief response to Buchheit *et al.* *Int J Sports Med* 2016;37:77-81.
 21. Castagna C, Varley M, Povoas S, D'Octavio S. The evaluation of the match external load in soccer: Methods comparison. *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12:490-5.
 22. Winter EM, Maughan RJ. Requirements for ethics approvals. *J Sports Sci* 2009;27:985-5.
 23. Johnston R, Watsford M, Kelly S, Pine R, Spurrs R. The validity and reliability of 10 Hz and 15 Hz GPS units for assessing athlete movement demands. *J Strength Cond Res* 2014;28:1649-55.
 24. Portas M, Harley J, Barnes C, Rush C. The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz global positioning system for linear, multidirectional, and soccer-specific activities. *Int J Sports Physiol Perform* 2010;5:448-58.
 25. Varley M, Fairweather I, Aughey R. Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *J Sports Sci* 2012;30:121-7.
 26. Waldron M, Worsfold P, Twist C, Lamb K. Concurrent validity and test-retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gate to assess sprint performance variables. *J Sports Sci* 2011;29:1613-9.
 27. Duffield R, Reid M, Baker J, Spratford W. Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *J Sci Med Sport* 2010;13:523-5.
 28. Gaudino P, Iaia FM, Hawkins RD, Strudwick AJ, Gregson W. Systematic bias between running speed and metabolic power data in elite soccer players: influence of drill type. *Int J Sports Med* 2013;34:1-5.
 29. Minetti A, Moia C, Roi G, Susta D, Ferretti G. Energy cost of walking and running at an extreme uphill and downhill slope. *J Appl Physiol* 2002;93:593-9.
 30. Bradley P, Di Mascio M, Peart D, Olsen P, Sheldon B. High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *J Strength Cond Res* 2010;24:2343-51.
 31. Hopkins W. Spreadsheets to compare means of two groups. *Sport Science* 2007;11:22-3.
 32. Batterham AM, Hopkins WG. Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J Sports Physiol Perform* 2006;1:50-7.
 33. Hopkins W, Marshall S, Batterham A, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:3-13.
 34. Hopkins W. A Spreadsheet for deriving a confidence interval, mechanistic inference and clinical inference from a p value. *Sportscience* 2007;11:16-20.
 35. Aughey R. Increased high-intensity activity in elite Australian football finals matches. *Int J Sports Physiol Perform* 2011;6:367-79.
 36. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Second edition. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates Publishing; 1988.
 37. Dawson B, Hopkinson R, Appleby B, Stewart G, Roberts C. Comparison of training activities and game demands in the Australian Football League. *J Sci Med Sport* 2004;7:293-301.
 38. Gregson W, Drust B, Atkinson G, Di Salvo V. Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *Int J Sports Med* 2010;31:237-42.
 39. Di Prampero P, Botter A, Osgnach C. The energy cost of sprint running and the role of metabolic power in setting to performances. *Eur J Appl Physiol* 2015;115:451-69.
 40. Rampinini E, Alberti G, Fiorenza M, Riggio M, Sassi R, Borges T, *et al.* Accuracy of GPS devices for measuring high-intensity running in field-based team sports. *Int J Sports Med* 2015;36:49-53.
 41. Buchheit M, Al Haddad H, Simpson B, Palazzi D, Bourdon P, Di Salvo V, *et al.* Monitoring accelerations with GPS in football: Time to slow down? *Int J Sports Physiol Perform* 2014;9:442-5.

Conflicts of interest.—The authors certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript. Article first published online: July 25, 2017. - Manuscript accepted: July 24, 2017. - Manuscript revised: July 11, 2017. - Manuscript received: March 12, 2017.

Anexo 2. Estudio 2: Individualized thresholds to analyze the acceleration demands in soccer players using GPS.

Individualized thresholds to analyze acceleration demands in soccer players using GPS

Umbral individualizados para analizar las demandas en la aceleración en futbolistas usando GPS

*F. Javier Núñez, **Francisco J. Toscano-Bendala, *Luis Suarez-Arrones, *F. Ignacio Martínez-Cabrera, ***Moisés De Hoyo

*Universidad Pablo de Olavide (España), **Universidad Católica San Antonio (España), ***Universidad de Sevilla (España)

Abstract. The aim of the present study was to analyze the number and the % of maximum accelerations, and the distance covered among different soccer players' positions, classifying them with GPS technology according to an individual threshold based on the maximum acceleration capacity. 20 players were observed during four matches (n=80). All players undertook a maximal running speed test to determine the maximal acceleration. Players' activities during the matches were classified into four individual acceleration thresholds: acceleration starting from 0 to 13 km·h⁻¹ and never reaching 18 km·h⁻¹ (A1); acceleration starting from 0 to 13 km·h⁻¹ and reaching 18 km·h⁻¹ (A2); acceleration starting from 13 to 18 km·h⁻¹ (A3); and acceleration starting above 18 km·h⁻¹ (A4). During A1, Full-Backs performed a higher number of accelerations compared to other playing positions and reached a ~95% of the maximum acceleration. During A2, Full-Backs and Wide Midfielder performed a higher number of accelerations than Central Defenders and Forwards, and Central Midfielders reached an estimated intensity of 95% of the maximum acceleration. During A3, CM performed the highest number of accelerations compared to the rest of the groups, while F reached an estimated intensity of 78% of their maximum acceleration. This individualized threshold could help coaches assess players' physical performance and improve it, or to avoid injuries.

Key words: Acceleration, match analysis, soccer, GPS, physical performance.

Resumen. El objetivo del presente estudio fue analizar el número, % de la aceleración máxima y la distancia recorrida por las diferentes posiciones de juego, clasificándolos según un umbral individual para cada jugador basado en la máxima capacidad de aceleración usando la tecnología GPS. Un total de 20 jugadores fueron evaluados durante 4 partidos (n=80). Todos los participantes realizaron un sprint a la máxima velocidad de carrera para determinar su capacidad máxima de aceleración. La actividad de los jugadores durante los partidos fue dividida en 4 categorías individuales de aceleración: A1, aceleración de 0 a 13 km·h⁻¹ y sin llegar a 18 km·h⁻¹; A2, aceleración desde 0 hasta 13 km·h⁻¹ y alcanzando 18 km·h⁻¹; A3, aceleración que inicia desde los 13 km·h⁻¹ hasta los 18 km·h⁻¹; A4, aceleración que comienza a una velocidad >18 km·h⁻¹. En A1, los defensas laterales realizaron un mayor número de aceleraciones en comparación con las otras demarcaciones de juego y logrando una intensidad ~ 95% de su aceleración máxima. En A2, los defensas laterales y centrocampistas laterales realizaron un mayor número de aceleraciones que los defensas centrales y delanteros, consiguiendo los centrocampistas una intensidad aproximada del 95% de su máxima aceleración. En A3, los centrocampistas realizaron una cantidad superior de aceleraciones que el resto de grupos, mientras que los delanteros lograron una intensidad aproximada del 78% de su máxima aceleración. Estos umbrales individualizados podrían ser de gran utilidad para permitir evaluar a los técnicos de forma más precisa el rendimiento físico de los jugadores, permitiéndoles con ello mejorar su rendimiento y prevenir lesiones en futbolistas.

Palabras clave: aceleración, análisis de partido, fútbol, GPS, rendimiento físico.

Introduction

The Global Positioning System (GPS) has been used to describe the physical profile of the soccer player by distance and speed variables during friendly matches (Casamichana et al., 2012; Buchheit et al., 2014b; Varley et al., 2014) and official matches (Suarez-Arrones et al., 2015). Several researches have indicated that the physical profile can vary in adults because of the playing position (Suarez-Arrones et al., 2015) or the fatigue development during the match (Randers et al., 2010). Normally the activity profile is divided in different speed zones ranging from 0 to 36 km·h⁻¹ and no standardized speed zones are observed (Cummins et al., 2013). In this line, most of these studies have categorized efforts as > 13 and > 18 km·h⁻¹ as medium and high intensity velocity, respectively (Casamichana et al., 2012; Suarez-Arrones et al., 2015). However, the use of absolute thresholds have two limitations that should be considered. Firstly, an absolute threshold do not consider that the capacity to accelerate is less when the acceleration start from a moderate or high speed than from a standing position (Bradley et al., 2010; Sonderegger et al., 2016). Secondly they are less specific than an individualized threshold because they do not consider the individual capacity of accelerate of each player (Núñez-Sánchez et al., 2017).

Actually, describing the physical profile of the soccer player by distance and speed variables might underestimate the external load during a match (Dalen et al., 2016). Some studies analyzed the acceleration movement profiles of soccer players, arguing that motion analysis that excludes accelerations probably underestimated high-intensity activities of the player (Bradley et al., 2010; Varley & Aughey, 2013). Bradley et al. (2010)

quantified the accelerations (> 2.5 m·s⁻²) of soccer players using a camera computerized tracking system, and no differences were found for elite players between the first and second half for the frequency of accelerations. Ingebrigtsen et al. (2015) (using microwave technology) and Dalen et al. (2016) determined acceleration profiles of elite soccer players and their contribution to the players' match load. According to these authors, the acceleration has to reach 2 m·s⁻² for at least a half second to be counted. In soccer, the players' tactical roles and available space on the pitch affect in the possibility of acceleration of the player and that does not need to occur at high velocity to be physically challenging (Varley & Aughey, 2012). Thus, it is essential to know the initial and final velocity to determine the acceleration profile of the player according to their playing position. Varley & Aughey (2013) quantified the number of accelerations using GPS (>2.78 m·s⁻²), commencement and final velocity of maximal accelerations were also identified to determine an acceleration profile of soccer players. These authors showed that the number of accelerations was position dependent, where wide defenders performed more accelerations than other roles. In addition, the 98 % of the accelerations started from a low velocity, and the 85 % had a final velocity <14,4 km·h⁻¹. These studies have not provided an explanation for the use of an absolute acceleration threshold for all players and all positions. Therefore, they could have a potential error in the measurement of the players' performance and generate the need for an individualized acceleration threshold (Abt & Lovell, 2009). According to this, these absolute thresholds do not consider the velocity where player start to accelerate. Thus, it is necessary to consider that the capacity to accelerate is greater when accelerations are initiated from stand or low velocity than when accelerations are initiated from moderate to high velocity (Sonderegger et al., 2016). Sonderegger et al. (2016) found that an acceleration of 3 m·s⁻² represents about 50% of the maximal voluntary acceleration when it start from a standing position. However, from an initial speed of 15

km·h⁻¹, just a few young soccer players could reach an acceleration over 3 m·s⁻². Then, when the initial speed is considered, the accelerations initiated from high-speed running are not underestimated and those that start from a low-speed running or standing are not overestimated as when absolute acceleration thresholds are used.

Therefore, the aim of the current study was to analyze the number, the % maximum of acceleration, and the distance covered among different soccer players positions, classifying them according to an individual threshold based on the maximum capacity of acceleration (a_{\max}) during friendly games using GPS technology.

Materials and Method

Participants

Time-motion analysis activity was collected from 20 semiprofessional soccer players (age 26.6±4.1 years; height 178.5±5.8 cm; body mass 74.4±5.6 kg). The athletes belonged to a Second B Spanish soccer division club. All players participate on average 14 hours combining soccer-specific training and 1-2 strength training sessions per week. This data was obtained from routine monitoring of work-rate in friendly games. Team and players confidentiality were granted and the study followed the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki). The University Human Research Ethics Committee granted the ethical approval for all of the experimental procedures.

Activity Pattern Measurements

Players were required to wear a GPS unit (15 hz SPI-pro W2b, GPSport, Canberra, Australia) fitted to the upper back of each player using a neoprene harness, during 40 m maximal running speed test and in four matches. All the units were activated more than 20 minutes before the match, allowing the acquisition of satellite signals (Duffield et al., 2010). The number of satellites for GPS was satisfactory, over 3 satellites at least (Larsson, 2003), during sprint test and all matches: ranged 4-11, average 7.8±2. GPS data was analyzed with Team AMS-R1-2012.9 software. The use of GPS technology for monitoring a match play provides a reliable and valid measure of the physical profile of the players (Coutts & Duffield, 2010; Varley et al., 2012), instantaneous velocity (Varley et al., 2012) and peak velocity (Buchheit et al., 2014a). Acceleration was calculated using a custom excel spreadsheet.

Experimental Procedures

All players undertook two 40 m maximal running speed to determine a_{\max} each 0.5 s. The best sprint time was selected for the analysis. This test was performed in an outdoor natural grass field. Players wore soccer boots during the test. Players started the sprint from a standing start with their front foot 0.5 m behind the start line and were instructed to sprint as fast as possible over the 40 m distance (Mendez-Villanueva et al., 2011). The test was preceded by standardized 20 min warm-up consisting of 5 minutes of mobility, stretches in active tension, 7 minutes of jogging, two progressions of 40m and a maximum acceleration of 10m. Match analyses were performed 4 times in all players during a total of 4 friendly matches played over a period of four weeks. Only the first half was included in our analysis and goalkeepers and players in the rehabilitation process were excluded. All matches were played on the same 100 x 70 m outdoor natural grass field, with no dismissal occurred. Tactically, the team employed a regular 1-4-4-2 formation.

Match running demands analysis

In order to classify intensity of actions based on percentage

acceleration, a moderate-high intensity zone that included actions with a percentage of the accelerations (acceleration >50% of the a_{\max}) was used (Sonderegger et al., 2016). The following locomotors categories were selected: the acceleration started from 0 to 13 km·h⁻¹ and did not reach 18 km·h⁻¹ (A1); the acceleration started from 0 to 13 km·h⁻¹ and reached 18 km·h⁻¹ (A2); the acceleration started from 13 to 18 km·h⁻¹ (A3); the acceleration started >18 km·h⁻¹ (A4). The number of accelerations, the % of individual maximal accelerations, and mean distance covered, were analyzed for each category. All players were assigned to 1 of 5 positional groups: Full Backs (FB, n=4), Central Defenders (CD, n=4), Central Midfielders (CM, n=4), Wide Midfielder (WM, n=4), and Forwards (F, n=4).

Statistical Analysis

Variables are presented as mean (± SD). Possible differences between players' position were analysed (pairwise comparisons) for practical significance using magnitude-based inferences (Hopkins, 2007). Data were log-transformed prior to the analysis to reduce non-uniformity of error (Hopkins et al., 2009). The standardised differences or effect sizes (90% confidence interval) between players' position were calculated. The threshold values for the Cohen effect size (ES) statistics were: trivial (0.0 – 0.19), small (0.2 – 0.59), moderate (0.6 – 1.1), large (1.2 – 1.9) and very large (> 2.0) (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins et al., 2009). Probabilities were also calculated to establish whether the true (unknown) differences were lower, similar or higher than the smallest worthwhile differences (0.2 multiplied by the between-subject standard deviation, based on Cohen's effect size principle). The quantitative chances of higher or lower differences were evaluated qualitatively as follows: <1%, almost certainly not; <5%, very unlikely; <25%, unlikely/probably not; 25–75%, possibly/possibly not; >75%, likely/probably; >95%, very likely; >99%, almost certainly (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins et al., 2009). A substantial effect was established as >75%. If the likelihood of higher or lower differences was >75%, the true difference was assessed as clear (substantial) (Aughey, 2011; Jennings et al., 2012). If the chance of having beneficial/better or detrimental/poorer was >5%, the true difference was considered unclear (Suarez-Arrones et al., 2014).

Results

The individual maximal acceleration every 0.5 seconds during the 40m test is present for each playing position in Table 1. The total number of accelerations, and the number of accelerations, the % a_{\max} , and mean distance covered during A1, A2, A3, and A4 actions are present for each position group in Table 2.

FB performed a higher number of total accelerations, obtaining substantial differences with F (%: +37%, ES= 1.26 [90%CL:2.03; 0.49], 99/1/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively) and CD (%: +31%, ES= 1.09 [90%CL:1.84; 0.33], 97/2/1% with changes for greater/similar/lower values, respectively). The F were the players who performed a smaller number of total accelerations, obtaining substantial differences with WM (%: -23.7%, ES= 0.62 [90%CL:1.46; -0.22], 81/14/5% with changes for greater/similar/lower values, respectively) too. During A1 FB performed a substantially higher number of accelerations than CD (%: +28%, ES= 1.04 [90%CL:1.8; 0.29], 96/3/1% with changes for greater/similar/lower values, respectively), WM (%: +25.7%, ES= 0.64 [90%CL:1.44; -0.17], 82/14/4% with changes for greater/similar/lower values, respectively) and F (%: +39.3%, ES= 1.26 [90%CL:2.03; 0.48], 99/1/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively), but no than CM. During A2 FB

Table 1.
The individual maximal acceleration ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) during A1, A2, A3 and A4 situations for each position group.

	CD	FB	CM	WM	F
A1 - A2	5.81 \pm 0.38 ^b	4.59 \pm 0.11	3.81 \pm 0.94	6.22 \pm 0.15 ^b	5.24 \pm 0.9
A3	3.33 \pm 0.24	2.84 \pm 0.47 ^a	3.02 \pm 0.16 ^a	3.13 \pm 0.39 ^a	2.63 \pm 0.31 ^a
A4	2.66 \pm 1.05	2.70 \pm 0.02	2.33 \pm 0.01 ^b	2.46 \pm 0.06 ^b	2.53 \pm 0.83 ^b

CD: Central Defenders; FB: Full Backs; CM: Central Midfielders; WM: Wide Midfielder; F: Forwards. ^a. Substantial differences with CD; ^b. Substantial differences with FB; ^c. Substantial differences with CM; ^d. Substantial differences with W; ^e. Substantial differences with F.

Table 2.
Number of accelerations (n° Acc), percentage of individual maximal acceleration (% Acc Max) and mean distance covered in meters during A1, A2, A3 and A4 situations for each position group.

	CD	FB	CM	WM	F
n° Acc					
Total	73.7 \pm 4.4 ^{ab}	106.9 \pm 39.4 ^a	86.9 \pm 48.7 ^a	88.3 \pm 47.1 ^a	63.3 \pm 24.6
A1	57.3 \pm 3.4 ^e	79.6 \pm 27.5 ^{abde}	65.4 \pm 34.6 ^f	59.13 \pm 33.3	48.25 \pm 19.1
A2	15.8 \pm 3.3 ^{bd}	25.6 \pm 12.9	20.2 \pm 13.6	27.7 \pm 17.1	14.1 \pm 7.6 ^{bd}
A3	1 \pm 0 ^c	1.89 \pm 1.27 ^{ac}	4 \pm 1.73	1.7 \pm 0.5 ^{ac}	1.5 \pm 0.5 ^{ac}
A4		1(only 1)			1(only 1)
% Acc Max					
A1	69.2 \pm 8.8 ^{bce}	95.5 \pm 5.2 ^c	98.4 \pm 1.5	75.1 \pm 16.4 ^{bc}	80.4 \pm 7.5 ^{bc}
A2	73.2 \pm 6.8 ^{bd}	88.5 \pm 10.5 ^c	96.4 \pm 6.8	81.4 \pm 14.6 ^{bc}	75.8 \pm 12.1 ^{bc}
A3	50.4 \pm 11.4	62 \pm 19.2 ^{ad}	57.2 \pm 22.5 ^a	58.3 \pm 10.6 ^a	78.2 \pm 22.5 ^{abcd}
A4		51.21			54.45
Distance					
A1	10.3 \pm 2.2	10 \pm 2.4	10.7 \pm 1.7	10.3 \pm 1.3	10.2 \pm 1.5
A2	21.5 \pm 5.5	22.4 \pm 2.5	22.6 \pm 5.6	21 \pm 5.3 ^{bc}	25 \pm 5.3
A3	10.9 \pm 2	17.4 \pm 6.5 ^a	14.6 \pm 3 ^{abd}	19.9 \pm 7.7 ^a	25.1 \pm 24 ^a
A4		15.8			15.8

CD: Central Defenders; FB: Full Backs; CM: Central Midfielders; WM: Wide Midfielder; F: Forwards. ^a. Substantial differences with CD; ^b. Substantial differences with FB; ^c. Substantial differences with CM; ^d. Substantial differences with W; ^e. Substantial differences with F.

and WM performed a substantial higher number of acceleration than CD and F (from +38.2% to +49.1%, ES= from 0.87 to 1.02, 91-96% with changes for greater values). During A3 CM and CD performed a higher and lower number of accelerations than all groups (From \pm 52.7% to \pm 75%, ES= from 0.89 to 1.54 ES, 86-98% with changes for greater values respectively). During A4, only FB and F performed an acceleration.

CM and FB reached 95% a_{max} during A1 actions, and obtained substantial differences with all groups (ES= from 1.44 to 3.93, 100% with changes for greater values) that no reached 80% a_{max} . During A2 CM reached values above 95% a_{max} with substantial differences with all groups (ES= from 0.85 to 3.19, 92-100% with changes for greater values) that no reached 88% a_{max} . During A3 F reached 78% a_{max} and obtained substantial differences with all groups (ES= from 0.70 to 1.93, 79-97% with changes for greater values) that no reach 62% a_{max} . During A4 only FB and F performed an acceleration and reached a 51% and 54% of a_{max} respectively.

During A1 the players covered 10 m of distance without differences between groups. In A2 actions, the distance was duplicated. WM covered a substantial smaller distance than CM (%: -7%, ES= 0.71 [90%CL:1.55; -0.12], 85/11/4% with changes for greater/similar/lower values, respectively) and FB (%: -6.2%, ES= 0.53 [90%CL:1.32; 0.27], 76/18/7% with changes for greater/similar/lower values, respectively). During A3 CD were the players who covered a smaller distance, obtaining substantial differences with the other groups (from -25.3% to -56.5%, ES= from 0.61 to 1.32, 76-98% with changes for greater values respectively).

Discussion

The aim of the current study was to analyze the number, the % maximal acceleration, and the distance covered among different soccer players' positions, classifying them according to an individualized threshold based on a_{max} during friendly matches, with the same tactical system and monitoring with a GPS technology. The main findings of the present study were: a) FB performed a substantially higher number of accelerations A1 (the acceleration started from 0 to 13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and no reached 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) than CD, WM and F. b) FB and CM reached above 95% a_{max} for A1 with substantial differences with all groups; c) FB and WM performed a substantially higher number of

accelerations A2 (the acceleration started from 0 to 13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and reached 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) than CD and F; d) CM reached above 95% a_{max} for A2 with substantial differences with all groups; e) CM performed a substantially higher number of accelerations A3 (the acceleration started from 13 to 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), compared to the other groups; f) F reached above 78% a_{max} for A2 with substantial differences with all groups; g) During A1 all players covered the same distance, but during A2 WM covered a substantial smaller distance than CM, and during A3 CD cover a smaller distance than other groups.

The analysis of the accelerations, based on a_{max} of the players, generated an average of 83 accelerations during the first half of a match for each players. This value represents a 54 % more accelerations than those obtained by Dalen et al. (2016) and Ingebrigtsen et al. (2015), and a 28 % lower than those obtained by Varley & Aughey (2013) and a 30 % less than those obtained by Bradley et al. (2010) using absolute thresholds for analyzing the number of accelerations for all players. In our study, the 74 % of total accelerations were in A1, while the 24 % were A2, and the 2 % were in A3. This distribution is similar to that obtained in other studies (Varley & Aughey, 2012). These differences may have been for several issues. First, these authors have used an absolute threshold, which may not adapt to the maximum capacity to accelerate of each player. In addition, these studies have not considered the initial speed before acceleration, which affects the maximum capacity to accelerate (Sonderegger et al., 2016).

The acceleration started from 0 to 13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and no reached 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (A1), is the most repeated action along the first half of the match, in all playing positions, and which requires higher acceleration relative intensity (see Table 2). These results agree with those obtained in other studies which indicated that 98 % of the accelerations that occur in a match are of this nature (Varley & Aughey, 2012), and that the accelerations were the highest when players moved from any low-intensity running (Bradley et al., 2010). In our study, FB and CM produced the highest number of accelerations A1, performing an average of 79 and 65 accelerations during the first half of the match and reaching 94 % a_{max} and 80 % a_{max} . This is partly in line with the results obtained by Varley & Aughey (2013) and Dalen et al. (2016), both indicated that FB produced a greater number of accelerations during the first half of the match. These authors also agreed with Ingebrigtsen et al. (2015) when concluded that players in lateral positions in the team accelerate more compared to players in more central positions during the first half of the match. However none of these authors mentions that CM have high records in such actions as in our study. This could be caused by two reasons: first, the tactical intentions proposed to CM made them develop a greater capacity for acceleration than those obtained by Varley & Aughey (2013) where CM and CD got few accelerations; Second, the lower absolute acceleration capacity of the CM group and the relativity of accelerations, have to respond adequately to game actions to increase both the number of records, as % a_{max} respect to the other groups. Dalen et al. (2016) state that WM and FB produced more accelerations than other groups during the first half of the match. In our study WM have the least accelerations A1 produced and reached 75% a_{max} . One possible explanation for these results could be based on our study. WM are those who have greater capacity of acceleration A1 obtaining substantial differences with respect to FB. The analysis of the number of accelerations based on an absolute criterion ($2\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) (Dalen et al., 2016) may overestimate the number of accelerations of players who have a greater capacity for acceleration and underestimate the capacity of smaller players. The analysis based on the capacity of acceleration of each player allowed seeing that a FB with less capacity of acceleration, reached to 94 % a_{max} to resolve

situations that WM, with more capacity of acceleration, do it with the 75 % a_{max} . CD showed the least intensity in accelerations A1 reached 69 % a_{max} . However, they performed a greater number of accelerations than WM and F. For all groups during acceleration A1 the player covered around 10 m of distance. These findings could provide useful information for coaches because it is known that accelerations produce high mechanical demands that cause muscle damage due to the forces produces (Proske & Morgan, 2001) as well as an increase in the creatine kinase concentration and of the perception of muscle soreness (Young et al., 2012; Varley et al., 2017). Then, knowing the acceleration demands of an activity will help to coaches to design training programs for improve the players' performance and avoid injuries.

During accelerations which started from 0 to 13 km·h⁻¹ and reached 18 km·h⁻¹ (A2), the players covered the double distance than they did in A1. This may be a determining factor. Thus FB and WM, those who performed the greatest distance displacements, were the players that produced the highest number of accelerations A2 (25 and 27 accelerations, respectively) without substantially differences with CM. These results agree with those obtained by Varley & Aughey (2013) and Dalen et al. (2016) which they showed that FB and WM covered a greater distance of acceleration than other playing positions. In our study during A2 accelerations, WM covered a shorter distance than FB unclear. However, FB required a higher percentage of their maximum capacity of acceleration (88 %) than WM (81 %). One possible explanation could be that FB had more distance to accelerate on the pitch and a smaller capacity of accelerate comparing with their teammates. Then, they needed to use a higher percentage of their full potential acceleration. CD and F were the players who produced the lowest number of accelerations in A2 and used less percentage of their maximum capacity of accelerate (73 % and 75 %, respectively). It is possible that the spatial delimitation involving its location within the game system does not allow them regularly to perform such actions.

Our results showed a small number of accelerations that started from 13 to 18 km·h⁻¹ (A3). CM are the players who produced the highest number of accelerations A3 (4 accelerations per a half of a match), reaching a 57 % a_{max} . F reached the highest percentage of their maximum capacity of acceleration (78 %) and covered the highest distance (25 m).

The findings presented here are limited by the data which was collected from friendly matches and from all players who participated in the entire first half. Due to the impossibility of using the GPS during official matches at the time of measurement, we could not take data from official matches instead of friendly matches. These friendly matches are played to a greater extent in the preseason period. During the preseason, in the second half of the match, there are many player changes, so the analysis of only the first half allowed us to register the player during all the minutes played and under the same conditions. There may be an accuracy error in the measurement of all possible maximum acceleration, because during the A1, the acceleration which started during the match could be from 0 to 13 km·h⁻¹. When registering the maximum acceleration over the 40 m maximal running speed test, this maximal acceleration will always be achieved starting from 0, and this acceleration capacity may not be totally representative of the acceleration capacity starting from any other initial velocity. Likewise, we can make an estimation error of the maximum acceleration if we consider that during the game, the player can remain several seconds at a speed before accelerating, when our proposal of measurement of the maximum acceleration is always in a continuous upward acceleration until reaching the maximum. With all this, this proposal of evaluation of the different types of acceleration

guarantees that the evaluation of A1, A2, A3 and A4 will obtain the maximum records of each player for the different established criteria.

Conclusion

To conclude, this study supports the use of an individualized threshold to assess the acceleration according to the maximum capacity of acceleration instead of an absolute threshold. Furthermore, this approach reports useful information to understand the physical demands during a soccer match in function of the playing positions. This allows the coaches to design more accurate programs of training according to the number of accelerations, the % of their maximal acceleration or the distance covered during the acceleration by players. The traditional approach of assessment through the running speed does not consider the intensity of some actions that are developed in short distance and does not reach a high speed running. We have to consider the efforts at medium or low intensity while they have been done at high intensity. So, an individualized threshold based on the % of maximum acceleration could be a good tool to quantify these kind of physical demands in soccer.

References

- Abt, G., & Lovell, R. (2009). The use of individualized speed and intensity threshold for determining the distance run at high-intensity in professional soccer. *J Sports Sci*, 27(9), 893-898.
- Aughey, R. J. (2011). Increased high-intensity activity in elite Australian football finals matches. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(3), 367-379.
- Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J Sports Physiol Perform*, 1(1), 50-57.
- Bradley, P. S., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P., & Sheldon, B. (2010). High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2343-2351.
- Buchheit, M., Al Haddad, H., Simpson, B. M., Palazzi, D., Bourdon, P. C., Di Salvo, V., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Monitoring accelerations with GPS in football: time to slow down? *Int J Sports Physiol Perform*, 9(3), 442-445.
- Buchheit, M., Allen, A., Poon, T. K., Modonutti, M., Gregson, W., & Di Salvo, V. (2014b). Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. *J Sports Sci*, 32(20), 1844-1857.
- Casamichana, D., Castellano, J., & Castagna, C. (2012). Comparing the physical demands of friendly matches and small-sided games in semiprofessional soccer players. *J Strength Cond Res*, 26(3), 837-843.
- Coutts, A. J., & Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *J Sci Med Sport*, 13(1), 133-135.
- Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Med*, 43(10), 1025-1042.
- Dalen, T., Ingebrigtsen, J., Ettema, G., Hjelde, G. H., & Wisloff, U. (2016). Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of elite soccer. *J Strength Cond Res*, 30(2), 351-359.
- Duffield, R., Reid, M., Baker, J., & Spratford, W. (2010). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *J Sci Med Sport*, 13, 523-525.

- Hopkins, W. G. (2007). A spreadsheet to compare means of two groups. *Sportscience*, 11, 22–24.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sport Exerc*, 41(1), 3–13.
- Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, G. H., Drust, B., & Wisloff, U. (2015). Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *Eur J Sport Sci*, 15(2), 101–110.
- Jennings, D., Cormack, S. J., Coutts, A. J., & Aughey, R. J. (2012). GPS analysis of an international field hockey tournament. *Int J Sports Physiol Perform*, 7(3), 224–231.
- Larsson, P. (2003). Global Positioning System and sport-specific testing. *Sports Med*, 33(15), 1093–1101.
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., Peltola, E., & Bourdon, P. (2011). Does on-field sprinting performance in young soccer players depend on how fast they can run or how fast they do run? *J Strength Cond Res*, 25(9), 2634–2638.
- Núñez-Sánchez, FJ., Toscano-Bendala, FJ., Campos-Vázquez, MA., Suarez-Arrones, L. (2017). Individualized speed threshold to analyze the game running demands in soccer players using GPS technology. *Retos. Nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 32, 130-133.
- Proske, U., & Morgan, D. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol*, 1;537(Pt2), 333-345.
- Randers, M. B., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., Zubillaga, A., Peltola, E., Krstrup, P., & Mohr, M. (2010). Application of four different football match analysis systems: a comparative study. *J Sports Sci*, 28(2), 171–182.
- Sonderegger, K., Tschopp, M., & Taube, W. (2016). The challenge of evaluating the intensity of short actions in soccer: a new methodological approach using percentage acceleration. *PLoS One*, 11(11), e0166534.
- Suarez-Arrones, L., Tous-Fajardo, J., Núñez, J., Gonzalo-Skok, O., Gálvez, J., & Méndez-Villanueva, A. (2014). Concurrent repeated sprint and resistance training with superimposed vibrations in rugby players. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(4), 667-673.
- Suarez-Arrones, L., Torreño, N., Requena, B., Saez De Villarreal, E., Casamichana, D., Barbero-Alvarez, J. C., & Munguia-Izquierdo, D. (2015). Match-play activity profile in professional soccer players during official games and the relationship between external and internal load. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(12), 1417–1422.
- Varley, I., Lewin, R., Needham, R., Thorpe, R., & Burbeary, R. (2017). Association between match activity variables, measures of fatigue and neuromuscular performance capacity following elite competitive soccer matches. *J Hum Kinet*, 60, 93-99.
- Varley, M. C., Fairweather, I. H., & Aughey, R. J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *J Sports Sci*, 30(2), 121–127.
- Varley, M., & Aughey, R. (2013). Acceleration profiles in elite Australian soccer. *Int J Sports Med*, 34(1), 34–39.
- Varley, M. C., Gabbett, T., & Aughey, R. J. (2014). Activity profiles of professional soccer, rugby league and Australian football match play. *J Sports Sci*, 32(20), 1858–1866.
- Winter, E. M., & Maughan, R. J. (2009). Requirements for ethics approvals. *J Sports Sci*, 27(10), 985–985.
- Young, W., Hepner, J., & Robbins, D. (2012). Movement demands in Australian rules football as indicators of muscle damage. *J Strength Cond Res*, 26(2), 492-496.



Anexo 3. Estudio 3: Use of Individual relative thresholds to assess acceleration in young soccer players according to initial speed.

USE OF INDIVIDUAL RELATIVE THRESHOLDS TO ASSESS ACCELERATION IN YOUNG SOCCER PLAYERS ACCORDING TO INITIAL SPEED

FRANCISCO I. MARTÍNEZ-CABRERA,¹ FRANCISCO J. NÚÑEZ-SÁNCHEZ,¹ JOSE LOSADA,² CARLOS OTERO-ESQUINA,³ HUGO SÁNCHEZ,³ AND MOISÉS DE HOYO⁴

¹Department of Sports and Computing, Sport Faculty, Pablo de Olavide University, Seville, Spain; ²CEDIFA, Andalusian Football Federation, Seville, Spain; ³Fitness Section, Sevilla Football Club, Seville, Spain; and ⁴Department of Physical Education and Sport, University of Seville, Seville, Spain

ABSTRACT

Martínez-Cabrera, FI, Núñez-Sánchez, FJ, Losada, J, Otero-Esquina, C, Sánchez, H, and De Hoyo, M. Use of individual relative thresholds to assess acceleration in young soccer players according to initial speed. *J Strength Cond Res* XX(X): 000–000, 2018—The aims of the current study were (a) to analyze the characteristics of acceleration efforts using individual relative thresholds according to the initial speed during official matches in elite young soccer players according to player position and (b) to compare the differences between absolute and relative thresholds in assessing high-intensity acceleration. Player acceleration profiles were assessed using an individual relative threshold based on their acceleration capacity at different initial speeds (standing, 6, 10.8, and 15 km·h⁻¹), and the number of accelerations (>75% of the maximal acceleration) performed during soccer matches was divided into 3 categories attending to the initial speed. (S1 = 0–7 km·h⁻¹; S2 = 7.1–14 km·h⁻¹; and S3 = ≥14.1 km·h⁻¹). Within-group analyses showed that the number of accelerations performed in each category was higher when the effort started from a static or walking position than at moderate- or high-intensity running (S1 > S2 > S3; *very likely to almost certain*). Between-group analyses revealed substantial differences between some playing positions according to initial speed. In S1 and S3, central defenders had the lowest number of accelerations (*likely to almost certain*), whereas midfielders had the greatest number of high-intensity accelerations in S1 and S2. There were also substantial differences between the other playing positions (*possibly to almost certain*). Regarding relative and absolute thresholds (>3 m·s⁻²), the results showed that absolute threshold overestimated the number of

high-intensity accelerations compared with the individual relative threshold in S1 and underestimated the results in S2 and S3 (*almost certain*). The use of an individual relative threshold to measure acceleration demands allows to distinguish between the numbers of accelerations in function of the initial speed and playing positions. In addition, the absolute acceleration threshold could overestimate or underestimate the acceleration demands in young soccer players as a function of the initial speed. Then, the absolute acceleration thresholds should be taken with caution in the assessment of acceleration activities.

KEY WORDS acceleration profile, high intensity, positional role

INTRODUCTION

In the past several decades, the early identification of talent in young soccer players has become an interesting issue for professional soccer clubs due to the obvious associated financial benefits (6). Thus, optimal resources to recruit these players and adequate strategies to improve their technical, tactical, and physical skills are essential for the development of the players' talent. Understanding the physiological demands on young soccer players according to age and playing position is necessary to develop appropriate long-term training to achieve their maximal potential (6). Although interest in the analysis of movement patterns during soccer matches has been growing in recent years (3,10,11,27), little information regarding elite young soccer players during competitive matches is available (8,27). For instance, previous studies have shown that the number of accelerations and decelerations may also be a discriminating factor between youth and senior players (31).

It is known that in prepubescent children, physical capacities, which have an important influence on factors, such as acceleration, maximum running speed, or repeated-sprint performance, are influenced by growth and maturity (18,19,23). Papaïakovou et al. (23) observed that maximal speed improves with growth, whereas Mendez-Villanueva et al. (19)

Address correspondence to Francisco I. Martínez-Cabrera, fimarcab@outlook.com.

00(00)/1–9

Journal of Strength and Conditioning Research
© 2018 National Strength and Conditioning Association

TABLE 1. Relative differences and qualitative outcomes in high-intensity accelerations ($>75\%$ of the a_{\max}) according to S_{init} in the different playing positions.*†

	n° ACC $> 75\%$	Initial speed	Standardized differences (ES \pm 90% CI)	Chances (%) (90% CI)	Chances (%)	Qualitative assessment
Central defenders (CD) ($n = 40$)	S1: 10.00 \pm 6.73 S2: 2.78 \pm 1.91 S3: 0.23 \pm 0.58	S1 vs. S2 S1 vs. S3 S2 vs. S3	1.00 (0.62–1.38) 1.99 (1.50–2.48) 1.62 (0.91–2.34)	56.2 (40.2–67.9) 79.3 (69.5–86.00) 52.8 (34.3–66.2)	100/0/0% 100/0/0% 100/0/0%	Almost certainly Almost certainly Almost certainly
Strikers (S) ($n = 7$)	S1: 13.57 \pm 4.72 S2: 7.95 \pm 5.68 S3: 0.86 \pm 1.07	S1 vs. S2 S1 vs. S3 S2 vs. S3	1.37 (0.47–2.26) 3.77 (2.67–4.87) 1.78 (0.76–2.8)	61.5 (27.8–79.5) 89.4 (79.6–94.5) 72.4 (42.4–86.8)	98/2/1% 100/0/0% 99/1/0%	Very likely Almost certainly Very likely
Wide midfielders (W-MD) ($n = 20$)	S1: 21.7 \pm 16.81 S2: 2.63 \pm 2.19 S3: 0.60 \pm 0.94	S1 vs. S2 S1 vs. S3 S2 vs. S3	1.09 (0.57–1.61) 3.20 (2.58–3.82) 1.59 (0.99–2.20)	64.5 (41.6–78.4) 89.9 (84.2–93.5) 71.9 (54.2–82.4)	100/0/0% 100/0/0% 100/0/0%	Almost certainly Almost certainly Almost certainly
Fullbacks (FB) ($n = 23$)	S1: 21.52 \pm 14.22 S2: 7.00 \pm 5.07 S3: 0.57 \pm 0.79	S1 vs. S2 S1 vs. S3 S2 vs. S3	1.08 (0.58–1.58) 3.13 (2.60–3.66) 2.43 (1.88–2.99)	64.4 (42.7–77.9) 92.5 (88.3–95.1) 78.8 (69.8–85.1)	100/0/0% 100/0/0% 100/0/0%	Almost certainly Almost certainly Almost certainly
Midfielders (MD) ($n = 18$)	S1: 28.6 \pm 15.2 S2: 10.24 \pm 5.46 S3: 0.76 \pm 0.56	S1 vs. S2 S1 vs. S3 S2 vs. S3	1.66 (1.09–2.23) 7.13 (6.55–7.71) 4.17 (3.59–4.75)	64.5 (49.4–75.1) 95.6 (94.4–96.6) 87.7 (83.6–90.8)	100/0/0% 100/0/0% 100/0/0%	Almost certainly Almost certainly Almost certainly

*ES = effect size; CI = confidence interval; †%difference = percentage difference; chances = percentage chance of having better/similar/poorer values.

Data are the mean \pm SD.

also concluded that there is a positive effect of age on running speed qualities (acceleration, maximum speed running, and repeated-sprint performance) during growth, which is more likely related to biological maturation than to anthropometric characteristics. When an absolute standard values are used as the threshold, older players could reach a standard threshold more often than their younger counterparts. Buchheit et al. (6) observed that when absolute speed threshold was used, older players had more repeated-sprint sequences than younger players; by contrast, compared with older players, individualized speed threshold results were higher (in number) for younger players. The same authors have argued that it is necessary to understand the physiological load imposed on soccer players according to their position and age during matches to develop appropriate long-term training interventions to realize a young player's potential.

A recent study argued that accelerations and decelerations seem to be sensitive and valid markers of physical match performance, as changes captured during matches showed significant differences between halves (31). To avoid underestimated or overestimated high efforts, which are undertaken at low-speed running or short distances using speed thresholds, it is important to assess the acceleration capacity of soccer players. Varley and Aughey (29) found that approximately 98% of maximum acceleration started from a lower speed than that considered high-speed running, whereas in adults, approximately 85% of these do not reach the high-speed running threshold. In this sense, standard absolute thresholds have been used by researchers to measure the acceleration demands, considered a high-intensity acceleration, when players accelerate $>2.78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (29), $>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (1,13,17,21,26), or even $>4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (3). However, these absolute thresholds have 2 limitations that should be considered. First, an absolute standard threshold may not be adaptable to the individual capacity of each player to accelerate, and the intensity of each category could then be underestimated or overestimated. Second, the capacity to accelerate is not considered greater when it starts from a standing position or low speed than at moderate or high speed (3,25).

In 2016, Sonderegger et al. (25) designed a regression model to relate initial speed and maximal individual acceleration. De Hoyo et al. (10) were the first to use this approach to analyze the acceleration profile in elite soccer players according to player position. However, as high-intensity actions, such as acceleration, maximum running speed, or repeated-sprint performance, are age-related and depend on the qualitative muscular adaptations that occur with maturation during adolescence, an individual functional assessment of soccer player characteristics by age (6,19) and player position (6,27) is needed. According to the previous literature, young soccer players need an individualized assessment according to their age level, and it is not recommended that playing positions use the same guidelines, as with adult soccer players. To the best of our knowledge, no previous study has used any method considering the individual functional

capacity of player maximal capacity to accelerate according to initial speed (S_{init}), and none to date has compared high-intensity acceleration between the Sonderegger approach and absolute threshold in young soccer players. Therefore, the purposes of this study were (a) to analyze the characteristics of acceleration efforts using an individual relative threshold, during official matches, in young elite soccer players according to their player position and (b) to compare the differences between absolute and relative thresholds in assessing high-intensity acceleration. We hypothesize that the use of an individual relative threshold according to the S_{init} before acceleration will report differences between playing positions in young soccer players. In addition, we believe that the absolute acceleration threshold will overestimate the acceleration demands when it is initiated from a standing position and will underestimate the acceleration demands when the speed before acceleration is higher.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

To determine the number of accelerations of each player according to the S_{init} , the experimental protocol, adapted from Sonderegger et al. (25), included a test with 4 maximal voluntary acceleration (a_{max}) (over 40 m) starting from a different speed running (standing, 6, 10.8, and $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). An individual relative threshold according to their personal a_{max} from different S_{init} (using an individual regression model) ($>75\%$ of the a_{max}) and an absolute threshold ($>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) were used to assess the high-intensity acceleration efforts during soccer matches in function of the playing positions. Both threshold models were also compared.

Subjects

A total of 26 young soccer players (mean \pm SD; age 17.3 ± 1.1 years; height 175.6 ± 5.8 cm; and body mass 72.4 ± 5.2 kg) from a professional Spanish soccer club (La Liga BBVA) were assessed during their competitive club-level matches in the national league, national cup, and UEFA youth league. All players participated on average in ≈ 15 hours of combined soccer (4–5 sessions), strength (1 or 2 sessions), individual-specific training (1 session), and competitive play (1 or 2 games) per week. All procedures performed were in accordance with the Ethical Committee of the University of Pablo de Olavide from Seville (Spain) and with the 1946 Helsinki Declaration. Players were informed about the aims, experimental protocol, procedures, risks, and benefits of the study before any data collection and then signed an institutionally approved informed consent document. Informed consent was obtained from either all individual participants included in the study or their parents, in the case of those players younger than 18 years.

Procedures

Eighteen matches and a total of 108 individual match files were analyzed ($n = 108$), excluding data from players who

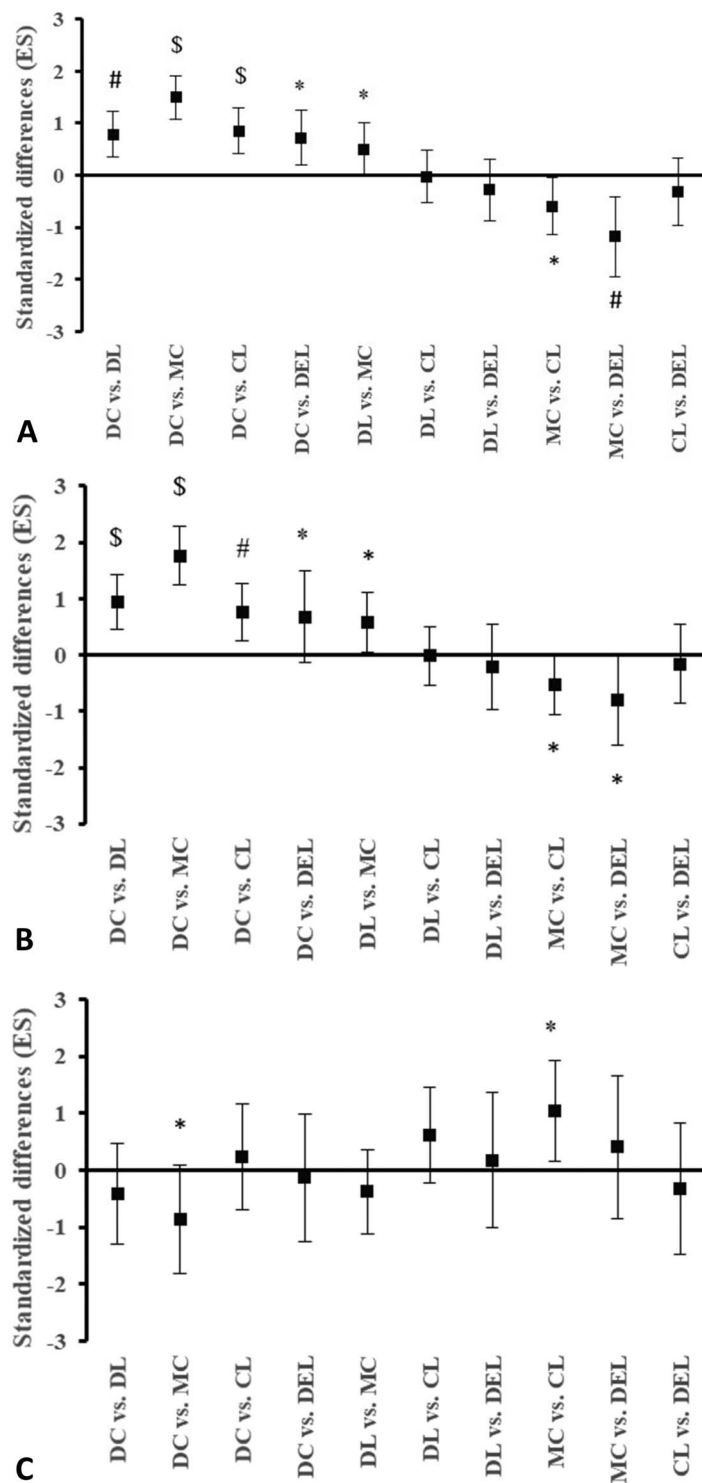


Figure 1. Comparison of the number of high-intensity accelerations between different playing positions according to S_{ini} : (A) acceleration that starts in S1, (B) acceleration that starts in S2, and (C) acceleration that starts in S3. Bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence intervals. Qualitative assessment: *likely; #very likely; and \$almost certainly. CD = central defenders, FB = fullbacks, MD = midfielders, W-MD = wide midfielders, S = strikers.

were injured or goalkeepers. Only full matches were analyzed, excluding those who were replaced ($n = 72$). Players were divided into 5 groups according to the position they played during games: central defenders (CD, $n = 40$ files), fullbacks (FB, $n = 23$ files), midfielders (MD, $n = 18$ files), wide midfielders (W-MD, $n = 20$ files), and strikers (S, $n = 7$ files). Tactically, only matches where 1-4-2-3-1 formation was used were included. All players undertook 4 maximally accelerated sprints over 40 m to achieve maximal speed running (7,20), following the proposal of Sonderegger to relativize the acceleration in the function of S_{init} and maximal acceleration (25).

The first sprint was performed from a standing position, whereas the others were performed from 3 different constants: S_{init} ($S1 = 6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), jogging ($S2 = 10.8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), and running ($S3 = 15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). Between each sprint, 3 minutes of recovery was given. To target with S_{init} , short auditory signals were given through a speaker placed in the middle of the pitch to cover the distance between 5-m markers. The players maintained the target running speed for 25–40 m, and at an arbitrary time point, the paced runner blew a whistle, which signaled players to accelerate maximally and to run as fast as possible. Before the test, players were familiarized with the execution of the test on the same artificial turf. A standard 20-minute warm-up was performed before the familiarization exercises and test (25). An individual regression model was used for each player to measure the relationship between initial speed and maximum acceleration performed. As the initial speeds were different among players, the initial speed before acceleration of each soccer player was used for the individual regression model instead of the initial speed established.

Data Collection. Portable global positioning system (GPS) technology units sampling at 15 Hz (SPI Pro X; GPSports, Canberra, Australia) were used to determine physical performance during games. The validity and reliability of this model was assessed regarding the distance covered, different running speeds, and soccer-specific activities, providing more reliable measurements of the demands of movements than 1- or 5-Hz GPS (17,24,30,32). Each unit was positioned between the scapulae near the upper thoracic spine, where it was held in place by a padded neoprene vest provided by the manufacturer (22). The devices were activated before the warm-up; thus, all units were activated more than 20 minutes before the match, allowing for the acquisition of satellite signals (12).

Match Analysis Measures. According to Sonderegger et al. (25), the percentage of accelerations was calculated with the ratio of the maximal acceleration of the action ($a_{\max \text{ action}}$) and the a_{\max} that can be achieved for a particular S_{init} (percentage acceleration [%] = $a_{\max \text{ action}}/a_{\max} \times 100$). To ensure the individual assessment of each player, we used the individual regression model equation of each player as a function of

the test for the subsequent match analysis. To analyze the acceleration, all actions with high-percentage accelerations ($>75\%$ of the a_{\max}) were collected (10,25). Moreover, accelerations were quantified according to the 3 S_{init} categories: static or walking ($S1 = 0\text{--}7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), moderate-intensity speed ($S2 = 7.1\text{--}14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), and high-intensity speed ($S3 \geq 14.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) (10). To compare between the individual threshold for the function of the S_{init} and the absolute thresholds, the number of high accelerations ($>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) was also collected (1,13,17,21,26). All data were downloaded from the GPSport software Team AMS (Canberra, Australia). Later, the relative thresholds were calculated using a custom Microsoft Excel spreadsheet with minimum speed and maximal acceleration ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) data from the software.

Statistical Analyses

Descriptive statistics were used to summarize all demographic characteristics and outcomes. The results are presented as the mean \pm SD. All data were log-transformed for analysis to reduce bias arising from nonuniformity error and were later analyzed for practical significance using magnitude-based inference (15). The scale considers a magnitude of change substantial when there is a $\geq 75\%$ likelihood of the effect being equal to or greater than the smallest worthwhile change estimated as $0.2 \times$ between-subject SDs and is classified as trivial to moderate (2). Quantitative chances of beneficial/better or detrimental/poorer effect were assessed qualitatively as follows: $<1\%$, almost certainly not; $>1\text{--}5\%$, very unlikely; $>5\text{--}25\%$, unlikely; $>25\text{--}75\%$, possibly; $>75\text{--}95\%$, likely; $>95\text{--}99\%$, very likely; and $>99\%$, almost certain. If the chance of having beneficial/better or detrimental/poorer was $>5\%$, the true difference was considered unclear (28). Cohen's d effect size (ES) was also calculated using a confidence interval (CI) of 90%. Based on the proposal of Cohen (9), the ES could be classified as: trivial (0.0–0.19), small (0.2–0.59), moderate (0.6–1.1), large (1.2–1.9), and very large (>2) (2,15).

RESULTS

Within-Group Analyses

Relative differences and qualitative outcomes resulting from the within-group analyses considering the initial speed are shown in Table 1. The results showed that for all playing positions, the number of accelerations over $75\% a_{\max}$ was higher when the players started from a static or walking position than at moderate-intensity or high-intensity speed ($S1 > S2 > S3$; *very likely to almost certain*).

Between-Group Analyses

Results from the between-group analyses are illustrated in Figure 1. Data revealed a substantially greater number of high-intensity accelerations in S1 in MD, W-MD, FB, and S than CD (% difference: 254.8 [90% CI: 148.3–406.8], 100/0/0% with changes for greater/similar/lower values,

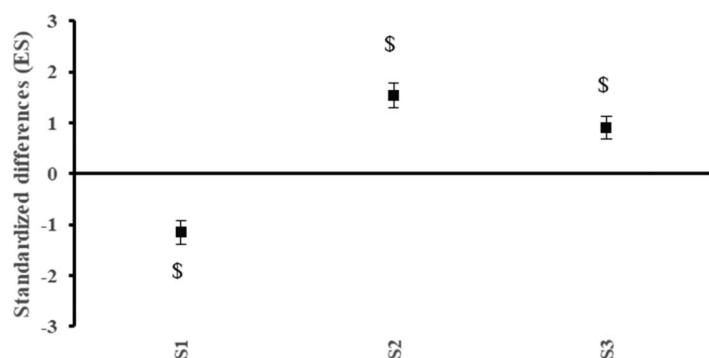


Figure 2. Comparison of the number of high-intensity accelerations between the absolute ($>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) and individual relative ($>75\%$ of the a_{max}) thresholds according to S_{init} : acceleration that starts in S1, acceleration that starts in S2, and acceleration that starts in S3. Bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence intervals. Qualitative assessment: \$almost certainly.

respectively; % difference: 128.1 [90% CI: 48.7–250.1], 99/1/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively; % difference: 131.9 [90% CI: 45.0–271.1], 99/1/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively; and % difference: 81.5 [90% CI: 15.8–184.4], 94/5/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively), and in MD than W-MD, FB, and S (% difference: 35.7 [90% CI: 3.7–57.1], 88/11/1% with changes for greater/similar/lower values, respectively; % difference: 52.9 [90% CI: -2.3–139.4], 82/16/2% with changes for greater/similar/lower values, respectively; and % difference: 48.8 [90% CI: 21.5–66.6], 98/2/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively). A substantially greater number of high accelerations from S2 were executed in MD than S, FB, CD, and W-MD (% difference: 44.6 [90% CI: 0.8–69.6], 90/8/2% with changes for greater/similar/lower values, respectively; % difference: 52.7 [90% CI: 3.4–125.3], 88/11/1% with changes for greater/similar/lower values, respectively; % difference: 187.6 [90% CI: 111.1–291.9], 100/0/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively; and % difference: 35.7 [90% CI: 1.7–59.4], 84/15/2% with changes for greater/similar/lower values, respectively). The S had substantial differences in the number of high accelerations over CD (% difference: 59.3 [90% CI: -9.7 to 180.8], 85/11/4% with changes for greater/similar/lower values, respectively), FB over CD (% difference: 88.4 [90% CI: 36.6–159.9], 99/1/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively), and CD over W-MD (% difference: 84.8 [90% CI: 23.2–177.4], 97/3/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively). Regarding S3, results reported a substantially greater number of high accelerations in MD than in W-MD and CD (% difference: 48.6 [90% CI: 5.9–108.6], 94/4/2% with changes for greater/similar/lower values, respectively;

and % difference: 25.1 [90% CI: 27.8–45.7], 89/8/4% with changes for greater/similar/lower values, respectively).

Between Relative and Absolute Threshold Analyses

The results of the number of high acceleration efforts using an absolute threshold ($>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) according to the initial speed showed a greater number of accelerations in S1 than S2 (% difference: 95.2 [90% CI: 94.2–96.0], 100/0/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively, (ES: 4.74 [90% CI: 4.97–4.52])) and S3 {100/0/0% with changes for greater/similar/lower values,

respectively, (ES: 5.01 [90% CI: 5.23; 4.78])}. In S2, a higher number of high acceleration efforts were found than those in S3 {100/0/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively, (ES: 1.48 [90% CI: 1.70; 1.25])}. The data indicated that no acceleration was performed from S3 above $>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

The results from between relative and absolute threshold analyses are shown in Figure 2. Data revealed that the number of high-intensity accelerations using absolute threshold was substantially greater in comparison with relative threshold ($>75\%$ acc_{max}) in S1 (% difference: 50.82 [90% CI: 50.8–65.3], 100/0/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively). However, the number of high-intensity accelerations using absolute threshold was substantially lower than using relative threshold when they started in S2 and S3 (% difference: 188.7 [90% CI: 143.8–242.0], 100/0/0%; 100/0/0% with changes for greater/similar/lower values, respectively).

DISCUSSION

Recently, Sonderegger et al. (25) designed a new model to assess acceleration profiles according to the S_{init} in soccer players. This approach could produce important information regarding acceleration characteristics in soccer to provide a better understanding of the high-intensity efforts in soccer players during competition. The main aims of this study were (a) to report a descriptive analysis of the different acceleration profiles using an individual, relative high-intensity acceleration threshold based on the S_{init} of the movement according to the different playing positions in young soccer players, and (b) to compare this individual relative threshold with an absolute high-intensity acceleration threshold. The results showed differences between high-intensity acceleration profiles according to S_{init} and playing position. Moreover, the use of relative threshold to assess the number of accelerations was overestimated by the absolute threshold when the acceleration started from S1, while in S2 and S3 was underestimated.

Turning to the number of accelerations according to S_{init} in young soccer players, our data showed that the highest number of high-intensity accelerations ($>75\%$ ac_{max}) was performed from a static or walking speed (S1) ($72.36 \pm 15.54\%$) and was reduced when the S_{init} was higher ($13.26 \pm 5.51\%$ and $2.78 \pm 5.51\%$ to S2 and S3, respectively). In this sense, all playing positions had more high-intensity accelerations in S1 than S2 and more in S2 than S3 (Table 1). These results show that compared with the results of De Hoyo et al. (10), there are differences between young and adult soccer players when an individual threshold is used. This outcome underlined that the number of accelerations that started above $14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (S3) was the most common actions during matches in professional male soccer players ($42.95 \pm 25.74\%$) (10). In contrast to this outcome, in line with our results, other authors have suggested that 98% of accelerations start at S1 (29), with the number of accelerations being higher in elite soccer players when they started from low-intensity running than at higher speed (3). Bradley et al. (3) used an absolute threshold to assess high-intensity accelerations during domestic and international matches ($>4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). However, these researchers did not consider the S_{init} in their study to classify high-intensity acceleration; hence, players could possibly perform accelerations at high intensity, but those from high-speed running were consequently underestimated with an absolute threshold because the capacity to accelerate at higher S_{init} is less than that from a static start or from a walking pace. The results shown in Figure 2 corroborate this idea, where in S1, the number of accelerations was higher (substantially) using absolute threshold in comparison with relative threshold, while from S2 and S3, we found greater accelerations (substantially) using the relative threshold than the absolute threshold. In our case, with the Sonderegger proposal, we have considered the maximum capacity of each player to accelerate with different S_{init} , and this approach may be the reason for the differences with De Hoyo et al. (10), which are related to competitive level and age (6,7).

Regarding player positions, differences have been found in the function of S_{init} categories. When the acceleration started from standing or walking (S1), MD obtained the greatest value over all teammates, followed by W-MD, who had substantial differences with S and CD. S had a higher number of accelerations than CD. In S2, MD again had a greater number of high-intensity accelerations than S, FB, CD, and W-MD. By contrast, with S1, W-MD had the worst results in high-intensity accelerations. Regarding S3, substantial differences were found between MD and W-MD and CD. These differences between playing position in young players are concordant with other previous investigations (3,31). Similar results were found in young soccer players by Vigh-Larsen et al. (31), where CD registered a lower number of accelerations using an absolute threshold ($>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). However, these researchers also found that MD had lower values than their other teammates, whereas in our study, these players obtained the highest number of

accelerations. It is possible that the absolute threshold could have overestimated their individual maximal acceleration capacity and consequently underestimated the results. To the best of the authors' knowledge, only one study has been conducted using individual relative threshold according to the S_{init} to compare between playing positions among elite soccer players, but none in young soccer players (10). These researchers found similar results comparing CD with the other playing position in S1. However, in their study with professional players, FB had the highest values in high-intensity accelerations, whereas in our study, it was MD. In S2, W-MD had better results than FB, whereas in our study, W-MD had the worst values in high-intensity accelerations. When the S_{init} was high-intensity running (S3), we found higher results in MD over W-MD and CD, whereas for De Hoyo et al. (10), W-MD was substantially better than FB, and FB was substantially over MD. In addition, there were considerable differences between both studies in the number of high-intensity accelerations for all S_{init} . For example, in the same study above, CD in S1 had 1.57 ± 1.45 accelerations, whereas our CD had 10.00 ± 6.73 . These differences highlight that this approach is sensible enough to differ between playing position and level, which could be very useful for coaches to develop specific training programs to adapt to the specific demands of each player. Buchheit et al. (5,7) found that there was an age-dependent effect on sprint capacity, with older players generally covering greater distances than the younger (7). These researchers suggested that the better acceleration of the older soccer players does not reach a higher speed during a short running distance than that of the younger players because the older players reached their maximal sprint speed later in the 40-m sprint test (7). This phenomenon could also explain why our results were higher with young soccer players than in the investigation of De Hoyo et al. (11) with professional soccer players. Additional studies should be conducted in the future to complete this descriptive analysis according to competitive level and age.

Several studies have assessed acceleration during matches or trainings using an arbitrary absolute threshold (1,3,14,17,21,26). When these categories of intensity are used, the individual capacity of each player to accelerate is not taken into account, and all players are considered to have the same acceleration ability. In addition, the different acceleration capacities in the function of the S_{init} are also not considered (25). In our study, compared with the individual relative threshold when the accelerations started from S1, the absolute high-intensity acceleration threshold ($>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) overestimated the number of acceleration efforts. However, compared with the individual relative threshold from S2 and S3, the absolute threshold underestimated the number of accelerations (Figure 2). These differences could be explained by 2 reasons. First, an absolute threshold at $>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ could not be appropriate for every player because it does not take into account the individual maximum capacity of acceleration; thus, for some players, to assess the high-intensity accelerations, this threshold at $>3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ could be too low or too high. Buchheit et al. (6) already found these differences between absolute and individual

thresholds in assessing repeated-sprint sequences; where using an absolute threshold, older players were better than younger, whereas using a relative threshold, the younger players had a higher number of repeated sprints. Second, an absolute threshold does not consider the different capacities of acceleration as a function of the S_{init} either. Thus, it would be more difficult for accelerations that start from moderate or high-speed running to cross this threshold because the capacity to achieve this intensity is less than that from a static position (13,14,25,29). However, there were differences in the SD between the absolute and relative thresholds (30.8 ± 8.6 and 17.7 ± 13.9 , 1.3 ± 1.3 and 6.0 ± 5.0 , 0.0 ± 0.0 and 0.5 ± 0.8 , for absolute and relative threshold in S1, S2, and S3, respectively). If the substantial differences are considered playing positions using the relative threshold, the overall average of the number of high acceleration efforts could be the reason because of these SD values.

Our study had several limitations that should be considered. First, the individual threshold used with each player was a function of an initial test. However, the maximum capacity of acceleration could change along the season. In addition, the results may be conditioned by the performance at the specific moment of the test. Moreover, GPS devices have been shown to display large variability regarding acceleration and deceleration values (4,16). In the future, improvements in GPS, video, and electronic tracking systems will be indispensable to the better understanding of acceleration demands during soccer practice with greater reliability and validity.

PRACTICAL APPLICATIONS

This approach, based on individual threshold relative to the maximal capacity to accelerate as a function of the S_{init} , offers important support for the assessment of acceleration in soccer (matches or training). In this sense, the results showed substantial differences between playing positions in the high acceleration efforts. Then, the method used in this study to assess the acceleration efforts attending to the initial speed allows coaches to create more accurate profiles according to player positions and the individual characteristics of each player according to their playing position, age, or competitive level, which is important to design strategies to improve their acceleration capacity as a function of match demands, assess performance during matches, and use different recovery strategies after matches or trainings. In addition, our results have showed that the use of absolute threshold should be taken into account by coaches because could overestimate or underestimate the acceleration demands when the initial speed is not considered. Thus, this approach could be a good option for coaches to have more accurate information about the acceleration demands during training or soccer.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the article.

REFERENCES

1. Akenhead, R, Hayes, P, Thompson, K, and French, D. Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *J Sci Med Sport* 16: 556–561, 2013.
2. Aughey, R. Increased high-intensity activity in elite Australian football finals matches. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 367–379, 2011.
3. Bradley, PS, Di Mascio, M, Peart, D, Olsen, P, and Sheldon, B. High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *J Strength Cond Res* 24: 2343–2351, 2010.
4. Buchheit, M, Al Haddad, H, Simpson, BM, Palazzi, D, Bourdon, P, Di Salvo, V, et al. Monitoring acceleration with GPS in football: Time to slow down? *Int J Sports Physiol Perform* 9: 442–445, 2014.
5. Buchheit, M, Mendez-Villanueva, A, Simpson, BM, and Bourdon, P. Match running performance and fitness in youth soccer. *Int J Sports Med* 31: 818–825, 2010.
6. Buchheit, M, Mendez-Villanueva, A, Simpson, BM, and Bourdon, P. Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. *Int J Sports Med* 31: 709–716, 2010.
7. Buchheit, M, Simpson, BM, Peltola, E, and Mendez-Villanueva, A. Assessing maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 7: 76–78, 2012.
8. Castagna, C, D'Ottavio, S, and Abt, G. Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res* 17: 775–780, 2003.
9. Cohen, J. The T-Test for Means. In: 2nd ed. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associated Publishing, 1988. pp. 24–26.
10. De Hoyo, M, Sañudo, B, Suárez-Arrones, L, Carrasco, L, Joel, T, Domínguez-Cobo, S, et al. Analysis of the acceleration profile according to initial speed and positional role in elite professional male soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, 2017. Epub ahead of print.
11. Di Salvo, V, Gregson, W, Atkinson, G, Tordoff, P, and Drust, B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med* 30: 205–212, 2009.
12. Duffield, R, Reid, M, Baker, J, and Spratford, W. Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *J Sci Med Sport* 13: 523–525, 2010.
13. Dwyer, D and Gabbet, T. Global positioning system data analysis: Velocity ranges and a new definition of sprinting for field sport athletes. *J Strength Cond Res* 26: 818–824, 2012.
14. Haugen, T and Buchheit, M. Sprint running performance monitoring: Methodological and practical considerations. *Sports Med* 46: 641–656, 2016.
15. Hopkins, WG, Marshall, SW, Batterham, AM, and Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41: 3–13, 2009.
16. Hoppe, M, Baumgart, C, Slomka, M, Polglaze, T, and Freiwald, J. Variability of metabolic power data in elite soccer players during pre-season matches. *J Hum Kinet* 58: 233–245, 2017.
17. Johnston, R, Watsford, M, Kelly, S, Pine, R, and Spurrs, R. The validity and reliability of 10 Hz and 15 Hz GPS units for assessing athlete movement demands. *J Strength Cond Res* 28: 1649–1655, 2014.
18. Malina, R, Bouchard, C, and Bar-Or, O. Anaerobic performance. In: 2nd ed. *Growth, Maturation and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004. pp. 253–255.
19. Mendez-Villanueva, A, Buchheit, M, Kuitunen, S, Douglas, A, Peltola, E, and Bourdon, P. Age-related differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young soccer players. *J Sports Sci* 29: 477–484, 2011.
20. Mendez-Villanueva, A, Buchheit, M, Simpson, B, Peltola, E, and Bourdon, P. Does on-field sprinting performance in young soccer players depend on how fast they can run or how fast they do run? *J Strength Cond Res* 25: 2634–2638, 2011.

21. Osgnach, C, Poser, S, Bernardini, R, Rinaldo, R, and di Prampero, P. Energy cost and metabolic power in elite soccer: A new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc* 42: 170–178, 2010.
22. Owen, SM, Venter, R, du Toit, S, and Kraak, W. Acceleratory match-play demands of a Super Rugby team over a competitive season. *J Sports Sci* 33: 2061–2069, 2015.
23. Papaiaikovou, G, Giannakos, A, Michailidis, C, Patikas, D, Bassa, E, Kalopisis, V, et al. The effect of chronological age and gender on the development of sprint performance during childhood and puberty. *J Strength Cond Res* 23: 2568–2573, 2009.
24. Portas, M, Harley, J, Barnes, C, and Rush, C. The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz global positioning system for lineal, multidirectional, and soccer-specific activities. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 448–458, 2010.
25. Sonderegger, K, Tschoop, M, and Taube, W. The challenge of evaluating the intensity of short actions in soccer: A new methodological approach using percentage acceleration. *PLoS One* 11, 2016.
26. Stevens, T, de Ruiter, C, Twisk, J, Savalsbergh, G, and Beek, P. Quantification of in-season training load relative to match load in professional Dutch Eredivisie football players. *Science Med Football* 1: 117–125, 2017.
27. Stroyer, J, Hansen, L, and Klausen, K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc* 36: 168–174, 2004.
28. Suarez-Arrones, L, Tous-Fajardo, J, Núñez, J, Gonzalo-Skok, O, Gálvez, J, and Mendez-Villanueva, A. Concurrent repeated sprint and resistance training with superimposed vibrations in rugby players. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 667–673, 2014.
29. Varley, M and Aughey, R. Acceleration profiles in elite Australian soccer. *Int J Sports Med* 34: 34–39, 2013.
30. Varley, M, Fairweather, I, and Aughey, R. Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *J Sports Sci* 30: 121–127, 2012.
31. Vigh-Larsen, J, Dalgas, U, and Andersen, T. Position specific acceleration and deceleration profiles in elite youth and senior soccer players. *J Strength Cond Res* 32: 1114–1122, 2018.
32. Waldron, M, Worsfold, P, Twist, C, and Lamb, K. Concurrent validity and test-retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gate to assess sprint performance variables. *J Sports Sci* 29: 1613–1619, 2011.

Anexo 4. Consentimiento informado (estudio 3).

Como parte del control rutinario del estado de forma de nuestros futbolistas, nos dispondremos en las próximas fechas (según calendario competitivo) a la realización de una serie de pruebas físicas encaminadas a conocer la capacidad de aceleración de nuestros jugadores. Los datos aquí obtenidos nos aportarán una información de gran utilidad para el seguimiento y control de las acciones de estas características. Estos datos serán utilizados también para la elaboración de futuras investigaciones científicas. Las pruebas consistirán en:

- ✓ Una aceleración máxima de 40 m.
- ✓ Tres aceleraciones máximas comenzando a diferentes velocidades de carrera.

En vista a futuras investigaciones, los resultados del estudio y datos personales se tratarán de forma confidencial. Con el objetivo de facilitar el desarrollo del estudio, necesitamos su consentimiento firmado:

Yo, D. _____, con DNI nº _____, autorizo a mi hijo _____, menor de edad, a participar en las pruebas indicadas anteriormente como sujeto experimental en las instalaciones de nuestro club.

Fecha y firma